

Αχιλλέας Γ. Μαρκαντώνης

«Περί Κοσμογονίας»
Εγχειρίδιο Αστρονομίας

Αναθεωρημένη έκδοση
Λεμεσός 2021

Αχιλλέας Γ. Μαρκαντώνης

«Περί Κοσμογονίας»
Εγχειρίδιο Αστρονομίας

Αναθεωρημένη έκδοση

Λεμεσός 2021

Τίτλος: «Περί Κοσμογονίας» Εγχειρίδιο Αστρονομίας

Συγγραφέας: Αχιλλέας Γ. Μαρκαντώνης

Εκτύπωση και Βιβλιοδεσία: Lellos Bookbinding Ltd

ISBN: 978 – 9925 – 7487 – 0 – 9

Το παρόν αφιερούται στους γονείς μου, Στέλλα και Γεώργιο. Στην μητέρα μου, που μου προσέδωσε τα γράμματα και την ηθική και στον πατέρα μου που με στήριξε οικονομικά για να μπορέσω να εντρυφήσω στις Φυσικές και Ανθρωπιστικές Επιστήμες.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΤΟΥ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ

«Ζούμε σε μια κοινωνία απολύτως εξαρτώμενη από την επιστήμη και την τεχνολογία, όπου σχεδόν κανένας δεν ξέρει τίποτα για την επιστήμη και την τεχνολογία».

Καρλ Σαγκάν, 1934-1996, Αμερικανός αστρονόμος

Η συγγραφή του παρόντος εγχειρίδιου, που ασχολείται με το αντικείμενο της Αστρονομίας - Κοσμολογίας, δεν έχει ως σκοπό την αντικατάσταση της υπάρχουσας βιβλιογραφίας, αλλά την συνεισφορά στην προσπάθεια μετάδοσης της γνώσης στις πλατύτερες μάζες του πληθυσμού που δεν είναι εξοικειωμένες με το συγκεκριμένο γνωστικό αντικείμενο. Η δομή του εγχειριδίου έχει βασιστεί ως ένα βαθμό στο βιβλίο της Β΄ Ενιαίου Λυκείου του ΟΕΔΒ "Στοιχεία Αστρονομίας & Διαστημικής", των Γαβρίλη, Μεταξά, Νιάρχου, Παπαμιχάλη και θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως βοήθημα στη διδασκαλία ή την επιστημονική έρευνα.

Προσπάθησα στο μέτρο του δυνατού, το δύσκολο και δυσνόητο μέρος της επιστήμης αυτής να το μεταφέρω στον αναγνώστη απλά και κατανοητά, ώστε να μπορέσει να έχει μια σφαιρική εικόνα του κόσμου που μας περιβάλλει. Ως εκ τούτου, συγκέντρωσα σχεδόν όλες τις μαθηματικές έννοιες και φορμαλισμούς σε ένα κεφάλαιο, οι οποίες μπορούν να μελετηθούν προαιρετικά. Γενικά άφησα «τη φροντίδα της κομψότητας στους ράφτες και στους τσαγκάρηδες», σύμφωνα με τη γνώμη του θεωρητικού L. Boltzmann. Αντιθέτως, μεγάλη σημασία δόθηκε στο να παρουσιαστούν οι βασικότερες από τις σύγχρονες αντιλήψεις της Θεωρητικής Φυσικής, που ερμηνεύουν τα διάφορα αστρονομικά φαινόμενα.

Θεώρησα επιβεβλημένη την τοποθέτηση του ανθρώπου στο σύμπαν και τη σχέση του με αυτό, και προσπάθησα να δώσω απάντηση στο φιλοσοφικό ερώτημα της Αρχής της Δημιουργίας, που προς το παρόν μόνο στα πλαίσια της Μεταφυσικής προσεγγίζεται.

Στο παρόν εγχειρίδιο, η επαγωγή των διαφόρων θεμάτων-κεφαλαίων γίνεται εξελικτικά, από την Αρχή της Δημιουργίας έως και τον άνθρωπο, έτσι θα δούμε κατά σειρά εξέλιξης, <u>με αρκετά πρόσθετα με μπλε φόντο:</u>

- Στο κεφάλαιο 1, την ιστορία της Αστρονομίας μέσα στους αιώνες
- Στο κεφάλαιο 2, την αρχή και εξέλιξη του Σύμπαντος
- Στο κεφάλαιο 3, τις θεωρίες της Σύγχρονης Φυσικής, απαραίτητες για την κατανόηση της Κοσμολογίας
- Στο κεφάλαιο 4, τους γαλαξίες
- Στο κεφάλαιο 5, τους αστέρες (τη δημιουργία και την εξέλιξη τους)
- Στο κεφάλαιο 6, τη Γη στο διάστημα - το Ηλιακό σύστημα και το πώς σχηματίστηκε
- Στο κεφάλαιο 7, τον άνθρωπο στο Σύμπαν, τη ζωή σ᾽ αυτό και
- Στο κεφάλαιο 8, τα ταξίδια στο χρόνο

Η όλη προσπάθεια δεν είναι δυνατό να καλύψει μια ολόκληρη επιστήμη. Τα θέματα που την αποτελούν είναι τόσα πολλά, που μόνο ο δαίμονας του Laplace θα μπορούσε να καταγράψει: *«Ένα πνεύμα που θα γνώριζε ανά πάσα χρονική στιγμή όλες τις δυνάμεις οι οποίες δρουν στη φύση, όπως επίσης και τις στιγμιαίες θέσεις όλων των πραγμάτων που συναποτελούν το Σύμπαν, θα μπορούσε να συμπεριλάβει τις κινήσεις των μεγαλύτερων σωμάτων αλλά και των μικρότερων ατόμων σε μια μαθηματική σχέση, υπό την προϋπόθεση να είναι αρκετά ισχυρό, ώστε να επεξεργάζεται όλα τα δεδομένα ˙ για τούτο το πνεύμα, τίποτε δεν θα ήταν αβέβαιο ˙τόσο το μέλλον όσο και το παρελθόν θα παρουσιαζόταν μπροστά στα μάτια του».*

Η καινοτομία του κειμένου δεν έγκειται στο πρωτότυπο περιεχόμενό του, αλλά στο ότι περιέχει τις βασικότερες αρχές της επιστήμης της Αστρονομίας, «συμπιεσμένες» σε μικρό όγκο, με πλήθος εικόνων συνυφασμένων με το περιεχόμενο, ώστε εύκολα ο αναγνώστης να αποκτά μια ολοκληρωμένη εικόνα του Συμπαντικού Κόσμου!

Εύχομαι το εγχειρίδιο αυτό να προβληματίσει ευχάριστα τον αναγνώστη και να δώσει το κίνητρο για περαιτέρω μελέτη.

Θα ήταν παράλειψή μου να μην ευχαριστήσω τους καθηγητές του Τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Κύπρου και ιδιαίτερα τον καθηγητή κύριο Πάνο Ραζή, για τη στήριξή του. Θα ήθελα ακόμη να ευχαριστήσω την κυρία Έφη Βαρναβίδου και τη βοηθό Κωνσταντίνα Αντωνιάδου για την μορφοποίηση του όλου έργου. Τέλος, πολλές ευχαριστίες στο Βιβλιοδετείο Lellos Bookbinding Ltd για την άρτια παρουσίαση του βιβλίου.

Ο συγγραφέας, Αχιλλέας Γ. Μαρκαντώνης

Λεμεσός, 2018

ΛΙΓΑ ΛΟΓΙΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ

Ο Αχιλλέας Γ. Μαρκαντώνης που συνέγραψε αυτό το βιβλίο πήρε το πτυχίο του από το Πανεπιστήμιο Αθηνών, στις Γεωλογικές Επιστήμες, το 1995. Το 2015 τελείωσε και το Master του στην Μηχανική Πετρελαίου – Φυσικού Αερίου και Ενέργειας. Άρχισε την ερευνητική του δραστηριότητα στις Φυσικές Επιστήμες και πιο συγκεκριμένα στην επιστήμη της Αστρονομίας, πολύ νωρίς, από το τέλος της δεκαετίας του ’90. Είναι επισκέπτης καθηγητής στα Γυμνάσια και Λύκεια της Επαρχίας του (Λεμεσού), εγκεκριμένος από το Υπουργείο Παιδείας και Πολιτισμού από το 2010 έως σήμερα, για διαλέξεις στην επιστήμη της Αστρονομίας.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το "Εγχειρίδιο Αστρονομίας" του Αχιλλέα Μαρκαντώνη έρχεται σε μια πολύ γόνιμη αλλά συνάμα δύσκολη περίοδο της Επιστήμης, όπου, από τη μια οι γνώσεις της ανθρωπότητας αναπτύσσονται με απίστευτα γρήγορους ρυθμούς σε όλα τα γνωστικά αντικείμενα και σε μεγάλο βάθος, και από την άλλη η τεράστια αυτή εξέλιξη - που συνοδεύεται από αντίστοιχη πρόοδο στην τεχνολογία - δεν προσφέρει τον απαιτούμενο χρόνο στον άνθρωπο για να τις απορροφά συγκροτημένα κατά τρόπο ώστε να διαμορφώνει νέες ισορροπίες στον πνευματικό του κόσμο και τον φιλοσοφικό του ορίζοντα σε αγαστή ισορροπία με το περιβάλλον στο οποίο ζει και επενεργεί.

Αν αξιολογήσει βέβαια κανείς τη συνολική πρόοδο που έχει επιτελέσει ο άνθρωπος στα χιλιάδες χρόνια της παρουσίας του πάνω στον πλανήτη Γη, θα διαπιστώσει ότι αυτή αποτελεί μια σταγόνα στον απέραντο ωκεανό των γνώσεων και δυνατοτήτων που εκτυλίσσονται μέσα στο απέραντο Σύμπαν. Επομένως, ως ανθρωπότητα, ας είμαστε πάντοτε ταπεινοί σε αυτό το μεγάλο ταξίδι κατάκτησης των γνώσεων για να διαρκέσει όσο περισσότερο μπορέσουμε και όσο μας επιτρέψουν οι νόμοι του Σύμπαντος και το νόημα της ύπαρξής του.

Στην αέναη αυτή πορεία της ανθρωπότητας προς τη γνώση, κάθε εποχή παρεμβάλλει τα δικά της εμπόδια: λοιμοί, καταποντισμοί, δογματισμοί, πόλεμοι, οικονομική δυσπραγία, αλαζονεία, εξαθλίωση αξιών. Ακόμη και έλλειψη έμπνευσης και ενθάρρυνσης ή ύπαρξη άγνοιας μέσα στο σύστημα και το περιβάλλον στο οποίο ζούμε.

Στα χέρια μας και κυρίως των εκπαιδευτικών, ερευνητών και όσων άλλων αγαπάνε την επιστήμη και την πραγματική γνώση είναι το πώς να εμπνεύσουμε, πώς να διώξουμε την άγνοια που επικρατεί και πώς να αυξήσουμε το ενδιαφέρον προς το θαυμαστό κόσμο του Σύμπαντος που μας περιβάλλει, των νόμων που συνέτειναν στη δημιουργία και εξέλιξή του και των αναρίθμητων εφαρμογών που συνεπάγονται στην καλυτέρευση της ζωής μας και την πρόοδο της κοινωνίας. Και είναι αποδεδειγμένο σε όλους ότι η έμπνευση και το ενδιαφέρον είναι οι καλύτεροι αγωγοί της γνώσης και της λεωφόρου του μέλλοντος.

Το πόνημα που κρατάτε στα χέρια σας, το "Εγχειρίδιο Αστρονομίας" του αγαπητού Αχιλλέα Μαρκαντώνη, συντάχθηκε με κόπο, αγάπη και τεράστιο ενδιαφέρον εκ μέρους του συγγραφέα για τον μακροσκοπικό κόσμο του Σύμπαντος και τα σώματα/συστήματα που εμπεριέχει. Δεν έχει στόχο να καλύψει τα πάντα, ούτε ασφαλώς τα εξωτικά φαινόμενα που συναντώνται στο Σύμπαν. Τα πλείστα άλλωστε, όπως η Σκοτεινή Ύλη και η Σκοτεινή

Ενέργεια, μελετώνται ακόμη, αφού γνωρίζουμε μόλις τη σύσταση για το 5% της πυκνότητας ενέργειας του Σύμπαντος. Ο σκοπός συγγραφής του Εγχειριδίου Αστρονομίας δεν είναι να εξαντλήσει τα πάντα, αλλά να δώσει ένα καθοριστικό έναυσμα, μια εισαγωγή, και να εμπνεύσει τον αναγνώστη στο σημαντικό αυτό τομέα της πανάρχαιας αλλά και σύγχρονης επιστήμης, της Αστρονομίας που εξελίσσεται σήμερα σημαντικά με τη βοήθεια των μεγαλυτέρων τηλεσκοπίων της Γης, των δορυφόρων και των διαστημικών αποστολών, αλλά και των πειραμάτων αστροσωματιδιακής φυσικής και ανίχνευσης βαρυτικών κυμάτων.

Θεωρώ ότι το "Εγχειρίδιο Αστρονομίας" αποτελεί μια πολύ καλή πηγή εισαγωγής στον τομέα της Αστρονομίας για τη νέα γενιά μαθητών και για όσους εκτίθενται για πρώτη φορά στο θέμα. Είναι γραμμένο σε ποιοτικό επίπεδο, χωρίς πολλά μαθηματικά, και μάλιστα στην Ελληνική γλώσσα. Επεξηγεί πολύ καλά όλες τις έννοιες με τις οποίες καταπιάνεται, εμπνέει και διαβάζεται ευχάριστα με τα σχήματα που διαθέτει. Για περισσότερες τεχνικές λεπτομέρειες και τα αντίστοιχα μαθηματικά σε ποσοτικό επίπεδο, ο αναγνώστης μπορεί να προστρέξει σε άλλα συγγράμματα στην Αγγλική γλώσσα.

Καθηγ. Πάνος Ραζής
Τμήμα Φυσικής, Πανεπιστήμιο Κύπρου

«Θα πρέπει πάντως να παραδεχτεί κανείς πως δεν ήταν εύκολο να συμμαζευτούν τόσα πολλά σε τόσο λίγο χώρο…»

Γ. Μπάνος, 1986



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

«Από την Αναγέννηση και μετά οι άνθρωποι έπρεπε να συνηθίσουν στην ιδέα ότι ζουν σε ένα τυχαίο πλανήτη, σε ένα απέραντο γαλαξία»
Jostein Gaarder

Η Αστρονομία γεννήθηκε από τη δίψα του ανθρώπου να κατανοήσει το Σύμπαν και είναι τόσο παλαιά όσο και η παρουσία του πάνω στη Γη. Σήμερα παραμένει ένα από τα πιο συναρπαστικά και ταχέως αναπτυσσόμενα πεδία της γνώσης. Το να γνωρίζει κανείς τον κόσμο που τον περιβάλλει δεν είναι μόνο πολύ ενδιαφέρον, είναι και ιδιαίτερα χρήσιμο. Η γνώση αυτή οδηγεί το σύγχρονο άνθρωπο να γίνει κοινωνός του Κόσμου που κατοικεί.

Η επιστήμη της Αστρονομίας έχει ως αντικείμενο τη μελέτη των ουράνιων σωμάτων (όπως γαλαξιών, μεγάλων δηλαδή σχηματισμών με δισεκατομμύρια άστρα, αστέρων όπως ο Ήλιος, πλανητών όπως η Γη, καθώς και άλλων σωμάτων μικρότερης κλίμακας, δορυφόρων, αστεροειδών, κομητών κ.λπ.) και φαινομένων. Γενικά είναι η επιστήμη που μελετά το Σύμπαν. Το Σύμπαν είναι ένας τεράστιος χώρος γεμάτος από αντικείμενα και διαδικασίες που δεν έχουν αντίστοιχα στη Γη.

Από πολύ παλιά με διάφορες δοξασίες τους οι άνθρωποι προσπαθούσαν να δώσουν εξήγηση για την δημιουργία του κόσμου μας. Μια από αυτές τις προσπάθειες δίδεται από τον Ησίοδο στην «Θεογονία» του.

1.1 Θεογονία: Η Κοσμογονία του Ησίοδου (η δημιουργία του Κόσμου κατά τον Ησίοδο)

Στην Θεογονία του Ησίοδου προϋπάρχουν τρία στοιχεία, το **Χάος,** η **Γαία** και ο **Έρως**. Αυτές οι τρεις μορφές δεν έχουν γεννηθεί η μία από την άλλη. Είναι **αυτογέννητες** κι απέχουν μόνο χρονικά στη σειρά της γέννησής τους. Από τους τρεις πρώτους θεούς μόνο ο Έρως δε γεννά απογόνους. Αυτός ενώνει και ωθεί τις άλλες δυνάμεις σε δημιουργία.

Από το Χάος γεννήθηκαν το Έρεβος και η Νύχτα. Κι από την ένωση των δυο τους γεννήθηκαν ο Αιθέρας και η Ημέρα.

Η Γαία χωρίς ερωτική ένωση γεννά μόνη της τον Ουρανό, που έχει όση έκταση έχει κι εκείνη. Γέννησε επίσης τα Όρη και τον Πόντο. Έτσι όλη η διαμόρφωση του κόσμου ξεκινά από εκείνη. Η Γαία δημιουργεί το σύμπαν γεννώντας τα συστατικά του. Παραχωρεί μέρος από τις εξουσίες της στον Ουρανό και τεκνοποιεί από το σπέρμα του τον Ωκεανό, τον Κοίο, τον Κρείο, τον Υπερίονα, τη Θεία, τη Ρέα, τη Θέμιδα, τη Μνημοσύνη, τη Φοίβη, την Τηθύα, τον Κρόνο. Εκτός από τους Τιτάνες γέννησε τους Κύκλωπες και τους Εκατόγχειρες.

Ο Ουρανός χάνει την εξουσία του από τον Κρόνο, ο οποίος του κόβει τα γεννητικά όργανα. Από το αίμα του Ουρανού γεννιούνται οι Ερινύες, οι Γίγαντες, οι Μελίες και από το σπέρμα του κομμένου αιδοίου του γεννιέται η Αφροδίτη. Ο Ουρανός προφητεύει ότι ο Κρόνος θα χάσει την εξουσία από κάποιο από τα παιδιά του. Για το λόγο αυτό καταπίνει όποιο παιδί γεννάει η σύζυγός του Ρέα. Καταπίνει τη Δήμητρα, την Εστία, την Ήρα, τον Άδη και τον Ποσειδώνα.



Όταν έρχεται η σειρά να γεννηθεί ο Δίας η Ρέα δίνει στον Κρόνο έναν σπαργανωμένο λίθο αντί του νεογέννητου Διός και κρύβει το βρέφος σε ένα σπήλαιο του όρους Δίκτη στην Κρήτη. Όταν μεγαλώνει ο Δίας αναγκάζει τον Κρόνο να βγάλει από την κοιλιά του τα αδέλφια του κι ύστερα από συγκρούσεις, ο Δίας, παίρνει την εξουσία στα χέρια του και από τότε ξεκινά η εποχή των Ολύμπιων θεών.

1.2 Η Αστρονομία στην αρχαιότητα

Από τις αρχές της 2ης π.Χ. χιλιετίας, η ρύθμιση των αγροτικών εργασιών αλλά και λόγοι θρησκευτικοί, αστρολογικοί και ημερολογιακοί, παρακίνησαν το ενδιαφέρον διάφορων λαών όπως των Βαβυλωνίων για την παρατήρηση του ουρανού. Μερικές από τις πρώτες προσπάθειες των ιερέων τους ήταν αφιερωμένες στην χαρτογράφηση του ουρανού - στην αναγνώριση και στην ονομασία των πιο σημαντικών αστὲρων, στην παρατήρηση των μεταξύ τους θέσεων και στην σύνδεση της εμφάνισης τους στον ουρανό με τις εποχές. Οι παρατηρήσεις τους έδωσαν επίσης τη δυνατότητα να αναγνωρίσουν τους επτά πλανήτες (Ερμή, Αφροδίτη, Άρη, Δια, Κρόνο, καθώς και τον Ήλιο και τη Σελήνη, οι οποίοι θεωρούνταν και αυτοί πλανήτες, αφού μετατοπίζονται σε σχέση με τους απλανείς αστέρες), καθώς και τη στενή λωρίδα του ζωδιακού κύκλου, εντός της οποίας διενεργείται η κίνηση τους. Μέχρι τον 5ο π.Χ. αιώνα είχαν επίσης αναγνωρίσει τους αστερισμούς που χωρίζουν το ζωδιακό κύκλο σε δώδεκα τμήματα των 30˚ το καθένα (ζώδια).

Εκτός των άλλων, οι αστρολογικές ανάγκες των Βαβυλωνίων, είχαν ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη ενός είδους μαθηματικής αστρονομίας, που έφθασε στην μέγιστη ακμή της τους τρεις τελευταίους π.Χ. αιώνες, στην περίοδο των Σελευκιδών. Κύριο χαρακτηριστικό αυτής της αστρονομίας ήταν η χρησιμοποίηση αριθμητικών μοντέλων – αντίθετα με τα γεωμετρικά μοντέλα που χρησιμοποιούσαν οι αρχαίοι Έλληνες αστρονόμοι. Τα αριθμητικά αυτά μοντέλα (που είχαν συνήθως την μορφή απλών αριθμητικών προόδων) επέτρεπαν στους Βαβυλώνιους αστρονόμους – ιερείς, παρακολουθώντας τις καθημερινές θέσεις του Ήλιου, της Σελήνης και των πλανητών στο ζωδιακό κύκλο και προβάλλοντας τις παρατηρήσεις του παρελθόντος στο μέλλον, να προβλέπουν διάφορα φαινόμενα, όπως είναι η εμφάνιση της νέας Σελήνης (πράγμα πολύ σημαντικό για το Βαβυλωνιακό ημερολόγιο, καθώς η νέα Σελήνη σήμαινε την αρχή ενός νέου μήνα), οι εκλείψεις της Σελήνης, το ενδεχόμενο να συμβεί ή όχι ηλιακή έκλειψη κτλ.

Διαίρεσαν ακόμη την ημέρα και την νύχτα σε δώδεκα ώρες.

Ένας άλλος πολιτισμός με πολύ βαθιές αστρονομικές γνώσεις ήταν οι Αιγύπτιοι, οι οποίοι κατάφεραν να προσδιορίσουν ότι το έτος διαρκεί 365 ¼ ημέρες και να κτίσουν τις πυραμίδες τους με ακριβή αστρονομικό προσανατολισμό, με τους υψηλούς οβελίσκους τους να δείχνουν πάντοτε τον μεσημβρινό.

Ανάμεσα στους διάφορους πολιτισμούς που έστρεψαν την προσοχή τους στην παρατήρηση του ουρανού, υπήρξε και ο μυστηριώδης πολιτισμός των Μάγια, στην αμερικανική ήπειρο. Οι Μάγια κατείχαν σημαντικές αστρονομικές γνώσεις καθώς και πολυάριθμα αστεροσκοπεία. Η μελέτη των κινήσεων του Ήλιου, των άστρων και των πλανητών, καθώς και η ακολουθία των εποχών, τους είχαν κάνει ικανούς, να υπολογίζουν τη διάρκεια του έτους και του συνοδικού σεληνιακού μηνός, με εντυπωσιακή ακρίβεια.

Τα αστρονομικά αρχεία των Μάγια συμπεριλαμβάνουν αναλυτικές πλάκες για τον υπολογισμό των φάσεων της Σελήνης, τη συχνότητα των εκλείψεων και την εμφάνιση και την εξαφάνιση της Αφροδίτης ως πρωινό και απογευματινό άστρο. Η Μάγια βάσισαν το ημερολόγιο τους στους προσεκτικά υπολογισμένους κύκλους των Πλειάδων, του Ηλίου, της Σελήνης, του Κρόνου και του Άρη και είχαν επίσης ακριβή περιγραφή των εκλείψεων.

Ένας αρκετά μεγάλος αριθμός από σημαντικά κτήρια των Μάγια πιστεύεται ότι έχουν προσανατολισμό σχετικά με την πορεία της Αφροδίτης. Για τους Μάγια η Αφροδίτη ήταν προστάτιδα του πολέμου και πολλές καταγεγραμμένες μάχες τους πιστεύεται ότι είχαν προγραμματιστεί σύμφωνα με τις κινήσεις των πλανητών.

Το ημερολόγιο των Μάγια δεν ήταν συσχετισμένο με τον Ήλιο και έχει υποστηριχτεί ότι έχει μεγαλύτερη ακρίβεια από τον Γρηγοριανό. Διάφορες προφητείες τους για την καταστροφή του κόσμου, που βασίζονται σε ερμηνείες σύγχρονων «μελετητών» δεν επαληθεύτηκαν.

1.2.1 Από την Αστρολογία στην Αστρονομία – Αστρολογία: επιστήμη ή ψευδοεπιστήμη;

«Η Αστρονομία είναι κόρη της Αστρολογίας. Χρέος της ανάξιας αυτής μητέρας είναι να τρέφει το παιδί της»
Johannes Kepler, 1571-1630, Γερμανός αστρονόμος
(επειδή αναγκαζόταν να κάνει αστρολογικούς χάρτες για να ζήσει)



Στόνχετζ (Stonehenge): μνημείο στην Αγγλία (ηλικίας 5.000 ετών), του οποίου ο προσανατολισμός σχετίζεται άμεσα με αστρονομικά φαινόμενα

Ο άνθρωπος πολύ νωρίς, χιλιετηρίδες πριν, όπως ήδη αναφέραμε, παρατηρούσε συνέχεια τον ουρανό και τις πρώτες παρατηρήσεις που έκανε για τα ουράνια σώματα τις ερμήνευε αστρολογικά.

Η Αστρολογία (από το άστρο + λόγος) βασίζεται πάνω στην ιδέα (πίστη) ότι τα διάφορα ουράνια σώματα και φαινόμενα έχουν σημαντική επίδραση στη ζωή και το πεπρωμένο των ανθρώπων.

Τα διάφορα αυτά φαινόμενα κίνησαν το ενδιαφέρον του ανθρώπου, ο οποίος πολύ γρήγορα διαπίστωσε την ανάγκη καθιέρωσης ενός είδους ημερολογίου για την εξυπηρέτηση καθαρά πρακτικών αναγκών. Με την πάροδο του χρόνου, οι αστρονομικές παρατηρήσεις έγιναν ακριβέστερες και οδήγησαν με μετρήσεις μεγάλης ακρίβειας, στην καλύτερη κατανόηση των αστρονομικών φαινομένων, με αποτέλεσμα τη δημιουργία της επιστήμης της Αστρονομίας και τον πλήρη διαχωρισμό της από την Αστρολογία. Η τελευταία δεν χρησιμοποιεί επιστημονικές μεθόδους για να ερμηνεύσει τα «φαινόμενα» που διατείνεται ότι μελετά.

Η αντιεπιστημονικότητα της αστρολογίας έγκειται στο ότι το έργο του Πτολεμαίου «Τετράβιβλος» (στο οποίο συνοψίζει τον κορμό γνώσης της ελληνιστικής μαντικής ωροσκοπικής αστρολογίας και το οποίο σήμερα αποτελεί τον οδηγό της αστρολογίας), βασίζεται στην «Μαθηματική Σύνταξη» που έχει ως βάση το γεωκεντρικό σύστημα. Ακόμη στο ότι εξηγεί το πεπρωμένο των ανθρώπων βασιζόμενη πάνω στον ζωδιακό κύκλο και εξηγούμαι γιατί:

Αν παρατηρήσουμε για αρκετή ώρα τον έναστρο ουρανό, θα μας δημιουργηθεί η εντύπωση ότι οι αστέρες ομαδοποιούνται σε αμετάβλητους γεωμετρικούς σχηματισμούς. Οι αρχαίοι Έλληνες είχαν αναγνωρίσει σε αυτούς με τη φαντασία τους, μυθικές ή ιστορικές μορφές, και τους είχαν δώσει ανάλογα ονόματα.

Όλοι οι γνωστοί από την αρχαιότητα ουράνιοι σχηματισμοί αστέρων, καθώς και άλλοι που προστέθηκαν αργότερα, ονομάζονται αστερισμοί.

Το ηλιοκεντρικό μοντέλο προβλέπει ότι ένας επίγειος παρατηρητής πρέπει να βλέπει τον Ήλιο να μεταβάλλει τη θέση του κατά τη διάρκεια του έτους, σε σχέση με τους αστέρες και τους αστερισμούς.

Πραγματικά, μπορεί κανείς να διαπιστώσει εύκολα ότι η φαινόμενη αυτή κίνηση του Ηλίου, προκύπτει από την περιστροφή της Γης γύρω από αυτόν.

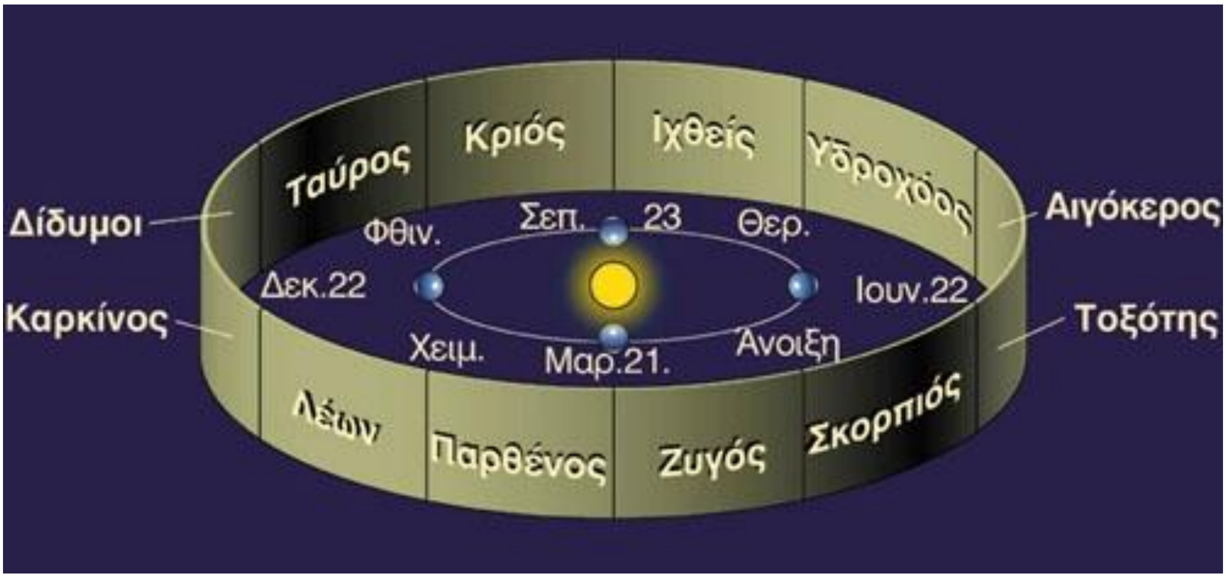
Από κάθε σημείο της τροχιάς της Γης, ο παρατηρητής βλέπει τον Ήλιο να προβάλλεται σε διαφορετικά σημεία της ουράνιας σφαίρας. Έτσι, κατά τη διάρκεια κάθε έτους, ο Ήλιος φαίνεται να περνά περιοδικά κοντά από συγκεκριμένους αστερισμούς. Οι δώδεκα γνωστότεροι από αυτούς ορίζουν το λεγόμενο ζωδιακό κύκλο (βλέπε σχ. 1.1 α,β).

Πώς μπορεί λοιπόν μόνο αυτοί οι δώδεκα αστερισμοί που ορίζουν το ζωδιακό κύκλο να επηρεάζουν τη ζωή των ανθρώπων, ενώ υπάρχουν δισεκατομμύρια άλλα άστρα και αστερισμοί; Αυτή η αυθαίρετη προσέγγιση καταδεικνύει με τον πιο κατηγορηματικό τρόπο, ότι η Αστρολογία είναι ψευδοεπιστήμη.

Πρέπει τέλος να σημειωθεί ότι, μόνο οι αφελείς πιστεύουν στα ζώδια. Όσοι γνωρίζουν τους νόμους της γένεσης της ζωής και εδάφια Νευροφυσιολογίας κατανοούν πως, οι κάθε λογής ακτινοβολίες που εκπέμπονται από τους αστερισμούς, δεν θα μπορούσαν κατ' ουδένα τρόπο να επηρεάσουν τη χημεία του εγκεφάλου, έτσι που να προσδίδουν περιοδικά συγκεκριμένα χαρακτηριστικά ή συμπεριφορές στους ανθρώπους.

Δεν θα ήταν ακόμη καθόλου υπερβολή, αν χαρακτήριζε κανείς ως ανοησία το να πιστεύουν κάποιοι ότι όσοι άνθρωποι γεννιούνται σε συγκεκριμένο «μήνα ζωδιακό» (την προβολή της θέσης του Ήλιου στην ουράνια σφαίρα) έχουν και κοινά χαρακτηριστικά, εκτός και αν είμαστε φακελωμένοι!

Ουράνια σφαίρα: Η φανταστική σφαίρα, στην εσωτερική επιφάνεια της οποίας έχουμε την ψευδαίσθηση ότι βρίσκονται οι αστέρες, οι πλανήτες και όλα τα ουράνια σώματα. Η ουράνια σφαίρα έχει ακαθόριστη ακτίνα και το κέντρο της ταυτίζεται με το κέντρο της Γης. Από ένα επίγειο παρατηρητή φαίνεται ότι περιστρέφεται μαζί με όλα τα ουράνια σώματα που παρατηρούμε σε αυτήν με κατεύθυνση από την ανατολή προς τη δύση. Ο άξονας της φαινόμενης περιστροφής της ουράνιας σφαίρας είναι η προέκταση του άξονα περιστροφής της Γης.



Σχήμα 1.1 α: Καθώς η Γη κινείται γύρω από τον Ήλιο, ο επίγειος παρατηρητής βλέπει την προβολή του Ήλιου στην ουράνια σφαίρα να κινείται σε σχέση με τους απλανείς αστέρες. Κατά τη διάρκεια του έτους, ο Ήλιος φαίνεται να περνά διαδοχικά κοντά από δώδεκα αστερισμούς. Το σύνολο των αστερισμών αυτών είναι γνωστό ως "ζωδιακός κύκλος".



Σχήμα 1.1 β: Η εικόνα δείχνει την κίνηση του Ήλιου στην ουράνια σφαίρα ως προς τους απλανείς αστέρες. Η τροχιά του Ήλιου είναι ένας μέγιστος κύκλος της ουράνιας σφαίρας και ονομάζεται εκλειπτική (βλέπε σελ. 239). Ο Ήλιος κινείται από τη δύση προς την ανατολή (αριστερό προς δεξιό μέρος του σχήματος). Περνάει διαδοχικά κοντά από τους αστερισμούς που φαίνονται στο σχήμα και επιστρέφει στο ίδιο σημείο της εκλειπτικής σε ένα έτος.

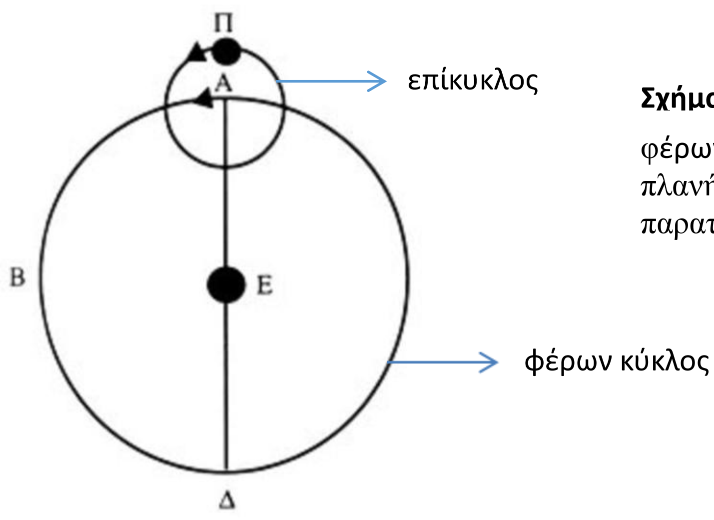
1.2.2 Η Αστρονομία στην αρχαία Ελλάδα

Ουσιαστικά η ανάπτυξη όμως της Αστρονομίας ως επιστήμης αρχίζει από την αρχαία Ελλάδα την εποχή του Θαλή, το 600 π.Χ. περίπου. Οι αρχαίοι Έλληνες φυσικά δεν ήταν επιστήμονες με τη σύγχρονη έννοια του όρου. Η έρευνά τους αφορούσε μόνο τη διατύπωση ιδεών και νόμων για την ερμηνεία των παρατηρούμενων αστρονομικών φαινομένων. Από τους πιο σημαντικούς αρχαίους Έλληνες φιλοσόφους, που η σκέψη τους διαδραμάτισε σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη της Αστρονομίας ως επιστήμης, αναφέρουμε τον Πλάτωνα (427-347 π.Χ.), τον Αριστοτέλη (384-322 π.Χ.), τον Αρίσταρχο (310-230 π.Χ.), τον Ίππαρχο (2ος αι. π.Χ.) και τον Πτολεμαίο τον Κλαύδιο (2ος αι. μ.Χ.).

Οι θεωρίες που διατυπώθηκαν από τους αρχαίους Έλληνες για το μέχρι τότε γνωστό Σύμπαν ήταν δύο: η ηλιοκεντρική θεωρία του Αρίσταρχου, που θεωρούσε ότι ο Ήλιος είναι στο κέντρο του Σύμπαντος και η γεωκεντρική του Ίππαρχου και του Πτολεμαίου, που θεωρούσε ότι η Γη ήταν στο κέντρο του Σύμπαντος και ίσχυσε μέχρι το 17ο αιώνα.

Ο Πτολεμαίος θεωρούσε τη Γη σφαιρική και ακίνητη και μεγαλύτερη από όλα τα ουράνια σώματα. Για να εξηγήσει την ανάδρομη κίνηση[1] των πλανητών, εισήγαγε στο γεωκεντρικό μοντέλο των έκκεντρων κύκλων και επικύκλων[2] (βλέπε σχ. 1.2) που είχε ήδη προταθεί από τον Απολλώνιο τον Περγαίο και τον Ίππαρχο, την έννοια του εξισωτικού σημείου ή εξισωτή (equant). Τοποθετώντας έναν παρατηρητή στο εξισωτικό σημείο, τότε αυτός θα βλέπει το σώμα που περιφέρεται γύρω του σε έναν επίκυκλο, να διανύει σε ίσους χρόνους ίσες γωνίες (κάτι που παραπέμπει στον νόμο των ίσων εμβαδών του Κέπλερ). Το μοντέλο αυτό έδινε ικανοποιητικά αποτελέσματα, με σφάλμα της τάξης μόνο λίγων μοιρών, για αυτό και επικράτησε για 14 αιώνες.

Στη «Μεγίστη Σύνταξιν» το σπουδαιότερο έργο του, ο Πτολεμαίος θεωρεί το Σύμπαν ως ένα σύνολο ομόκεντρων σφαιρών, όπου οι πλανήτες, ο Ήλιος και η Σελήνη κινούνται ο καθένας στην επιφάνεια της δικής του κοσμικής σφαίρας, ενώ οι απλανείς αστέρες τοποθετούνται συλλήβδην στην εξώτερη σφαίρα.



Σχήμα 1.2

φέρων κύκλος ΑΒΔ
πλανήτης Π
παρατηρητής Ε

1. Η ανάδρομη κίνηση είναι η κίνηση σε αντίθετη κατεύθυνση από την κίνηση ενός άλλου αντικειμένου, σε αντίθεση με την ορθόδρομη κίνηση. Αυτή η κίνηση μπορεί να είναι η τροχιά ενός σώματος γύρω από ένα άλλο, ή ενός αντικειμένου γύρω από τον άξονα περιστροφής του. Όσον αφορά τα ουράνια σώματα, η ανάδρομη κίνηση συνήθως αναφέρεται στην κίνηση η οποία είναι αντίθετης φοράς με την κίνηση του πρωτεύοντος αντικειμένου, δηλαδή του αντικειμένου το οποίο αποτελεί το κέντρο του συστήματος. Οι περισσότεροι πλανήτες του Ηλιακού μας Συστήματος περιστρέφονται από τη δύση προς την ανατολή, δηλαδή στην ίδια κατεύθυνση με την περιστροφή του Ήλιου, αντίθετα από την Αφροδίτη και τον Ουρανό που περιστρέφονται από την ανατολή προς τη δύση, δηλαδή κατά την ανάδρομη φορά.

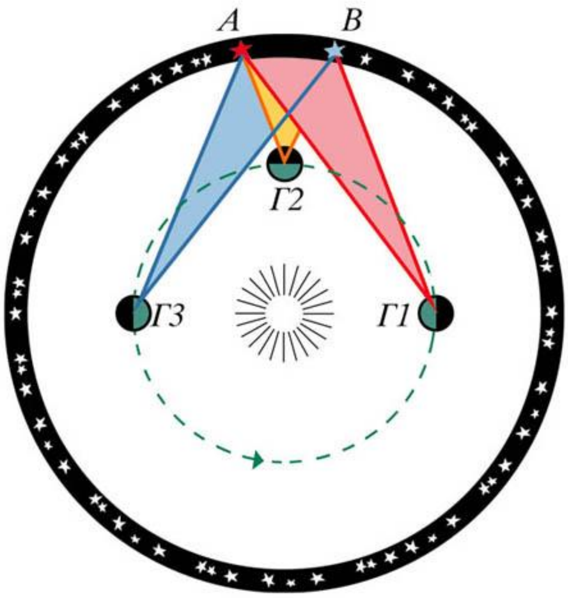
2. Ο επίκυκλος ήταν ένας μικρός κύκλος, τοποθετημένος στην περιφέρεια ενός μεγαλύτερου κύκλου, ο οποίος ονομαζόταν φέρων κύκλος. Οι πλανήτες εκινούντο κατά μήκος των επικύκλων, και το κέντρο των επικύκλων διέγραφε κυκλικές τροχιές γύρω από τη Γη. Οι δύο αυτοί κύκλοι αναπαριστούσαν την φαινομενική τροχιά των πλανητών με ομαλή κυκλική κίνηση. Κάθε πλανήτης εκινείτο σε διαφορετική ταχύτητα στον επίκυκλο και γύρω από τη Γη. Ο συνδυασμός των επικύκλων μπορούσε να ερμηνεύσει τις φαινομενικές κινήσεις των πλανητών (βλέπε άρθρο - βίντεο "*Ο Ίππαρχος και οι επίκυκλοι*". Έθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Γεώτοπος (Βάση Γεωγνώσης & ψηφιακή αποθήκη εκπαιδευτικού υλικού), Δημοσιεύτηκε στις 12 Οκτ 2007, http://portal.survey.ntua.gr/geohopper/Movie_Theater/Epicycles_CPdiM.htm).

1.2.2.1 Μεταβολή της γωνιακής απόστασης δύο αστέρων στα δύο μοντέλα (θεωρίες)

Ένας από τους λόγους που επικράτησε το γεωκεντρικό μοντέλο μέχρι τον 17ο αι. έχει να κάνει με την πρόβλεψη σχετικά με τη μεταβολή της γωνιακής απόστασης δύο αστέρων κατά τη διάρκεια ενός έτους.

Στο γεωκεντρικό μοντέλο παραμένει σταθερή, ενώ στο ηλιοκεντρικό μεταβάλλεται. Βλέπουμε ότι οι προβλέψεις των δύο μοντέλων σχετικά με τη μεταβολή της γωνιακής απόστασης είναι αντίθετες. Η επικράτηση του συγκεκριμένου μοντέλου οφείλεται στο ότι οι αρχαίοι Έλληνες δε διέθεταν τηλεσκόπια, ώστε να ανιχνεύσουν την πολύ μικρή μεταβολή της γωνιακής απόστασης, που ωστόσο υπάρχει (βλέπε σχ. 1.3).

Διαπιστώνουμε λοιπόν ότι καινούριες ή ακριβέστερες παρατηρήσεις μπορούν να οδηγήσουν στην ανατροπή παγιωμένων και φαινομενικά ακλόνητων αντιλήψεων, κάτι που έχει συμβεί πολλές φορές στην ιστορία της επιστήμης.



Σχήμα 1.3: Μεταβολή της γωνιακής απόστασης δύο αστέρων στο ηλιοκεντρικό μοντέλο.

Η γωνιακή απόσταση των αστέρων Α και Β, όπως τη μετράει ένας παρατηρητής που βρίσκεται πάνω στη Γη, μεταβάλλεται κατά την κίνησή της γύρω από τον Ήλιο.

Π.χ. η γωνία $ΑΓ_2Β$ είναι μεγαλύτερη από την $ΑΓ_3Β$.

1.3 Η Αστρονομία στην Σύγχρονη Εποχή (αστρονομικές παρατηρήσεις)

Η ηλιοκεντρική θεωρία ξαναβγήκε στην επιφάνεια τον 16ο αιώνα από τον Πολωνό αστρονόμο Κοπέρνικο (Nicolaus Copernicus, 1473 - 1543). Στην εργασία του «Περί της περιστροφής των Ουράνιων Σφαιρών», που δημοσιεύθηκε το 1543, επαναδιατύπωσε τη θεωρία του ηλιοκεντρικού συστήματος, ότι δηλαδή η γη κινείται γύρω από τον Ήλιο.

Μετά τον Κοπέρνικο, ο Δανός αστρονόμος Τύχο Μπράχε (Tycho Brache, 1546 - 1601) ήταν ο πρώτος αστρονόμος που έκανε αστρονομικές παρατηρήσεις (των θέσεων των πλανητών και ορισμένων αστέρων), χρησιμοποιώντας όργανα που κατασκεύασε ο ίδιος. Στις παρατηρήσεις του Tycho Brache στηρίχθηκε ο Κέπλερ (Johannes Kepler, 1571 - 1630), για να διατυπώσει εμπειρικά τους νόμους της κίνησης των πλανητών γύρω από τον ήλιο[3].

---

3. Βλέπε τους νόμους του, παράρτημα 1, σελ. 303

Η ανακάλυψη του τηλεσκοπίου, στις αρχές του 17ου αιώνα, είχε σημαντική επίδραση στην ανάπτυξη της Αστρονομίας. Ο Γαλιλαίος (Galileo Galilei, 1564 - 1642), Ιταλός Φυσικός, Μαθηματικός, Αστρονόμος και Φιλόσοφος, ήταν εκείνος που χρησιμοποίησε πρώτος το αστρονομικό τηλεσκόπιο, με το οποίο παρατήρησε αντικείμενα που δεν ήταν ορατά με γυμνό μάτι. Οι παρατηρήσεις του τον οδήγησαν το 1632 να δημοσιεύσει το «Διάλογο περί των δύο μεγίστων συστημάτων του κόσμου». Μέσα από το έργο του αυτό κηρύσσει το δόγμα του Κοπέρνικου (ηλιοκεντρική θεωρία) ως αστρονομική αλήθεια[4], κάτι για το οποίο καταδικάστηκε από την Ιερά Εξέταση. Παροιμιώδης έμεινε η φράση του «και όμως η Γη κινείται».



Ο Γαλιλαίος κατηγορείται επειδή υποστηρίζει ότι η γη κινείται!

Η θεωρία με την οποία απέδειξε το συμπέρασμα του Κοπέρνικου ότι η Γη κινείται, αλλά εμείς οι άνθρωποι δεν αντιλαμβανόμαστε την κίνησή της, είναι γνωστή ως **Αρχή του Γαλιλαίου**.

---

4. Περισσότερες πληροφορίες δίνονται στο σύγγραμμα του Galilei, G. «*Dialogue concerning the two chief world systems*». Translated by Stillman Drake, The Modern Library, New York 2001, pp. 393 – 395.

Οι περισσότεροι άνθρωποι την εποχή που ο Κοπέρνικος οδηγήθηκε στα συμπεράσματά του ήταν αδύνατο να πιστέψουν πως η Γη κινείται. Έτσι εξέφραζαν επιχειρήματα κατά της θεωρίας του, όπως το ακόλουθο: Ας υποθέσουμε πως η Γη κινείται και εσείς αφήνετε πάνω ακριβώς από το πόδι σας ένα νόμισμα να πέσει. Κατά τη διάρκεια της πτώσης του νομίσματος, επειδή η Γη κινείται, θα μετακινηθεί μαζί με αυτή και το πόδι σας. Επομένως, το νόμισμα δεν θα έπρεπε να χτυπήσει πάνω του, αλλά να πέσει δίπλα του στο έδαφος. Επειδή όμως όποτε επιχειρείται αυτό το πείραμα δεν παρατηρείται κάτι τέτοιο, σημαίνει πως η Γη δεν κινείται.
Την ιδέα της κινούμενης Γης ανέλαβε ένα αιώνα αργότερα να την υποστηρίξει ο Γαλιλαίος, διορθώνοντας το πιο πάνω επιχείρημα ως εξής: Ας υποθέσουμε πως καθόσαστε στην καμπίνα ενός κινούμενου πλοίου, που πλέει με σταθερή ταχύτητα, ή όπως λέμε ευθύγραμμα και ομαλά, και αποφασίσετε να αφήσετε ακριβώς πάνω από το πόδι σας ένα νόμισμα να πέσει, θα διαπιστώσετε ότι θα πέσει ακριβώς πάνω του. Ο λόγος είναι ότι το νόμισμα, τη στιγμή που το αφήνετε ελεύθερο να πέσει έχει ταχύτητα ίδια με αυτή που έχει το πλοίο (προφανώς ίδια ταχύτητα έχει και το πόδι σας). Πέφτοντας το νόμισμα θα συνεχίσει βέβαια να κινείται στην κατεύθυνση που κινούνται το πλοίο και το πόδι σας, άρα θα χτυπήσει ακριβώς πάνω του.
Συνεπώς, αν βρίσκεστε μέσα σε έναν κλειστό θάλαμο, που κινείται ομαλά, δηλαδή δεν ξεκινά ούτε σταματά την κίνησή του, δεν αναπηδά ούτε περιστρέφεται, αλλά απλώς κινείται με σταθερή ταχύτητα προς ορισμένη κατεύθυνση, τότε είναι αδύνατο να αντιληφθείτε αν κινείστε ή όχι. Το κάθε τι στο θάλαμό σας συμβαίνει σαν να ήσασταν ακίνητοι. Η ιδέα αυτή έγινε γνωστή ως **Αρχή του Γαλιλαίου.**
Επιπλέον, αν ανοίξετε κάποιο παράθυρο του θαλάμου σας και κοιτώντας έξω δείτε ένα άλλο θάλαμο να σας πλησιάζει, δεν θα μπορείτε να καταλάβετε ποιος θάλαμος κινείται, ο δικός σας ή ο άλλος. Μπορεί να τον πλησιάζετε εσείς ή να σας πλησιάζει αυτός (ή να συμβαίνουν και τα δύο συγχρόνως). Το μόνο που μπορείτε να πείτε με σιγουριά είναι ότι υπάρχει σχετική κίνηση μεταξύ των δύο θαλάμων.
Ουσιαστικά, η Αρχή του Γαλιλαίου λέει ότι όλες οι ευθύγραμμες ομαλές κινήσεις είναι σχετικές. Ο Κόσμος μας είναι γεμάτος σώματα που κινούνται σε διαφορετικές κατευθύνσεις με διαφορετικές ταχύτητες. Ποιος θα μπορούσε να υποδείξει το σώμα που είναι πραγματικά απολύτως ακίνητο; Κάτι τέτοιο είναι αδύνατο. Έτσι, δεν πρέπει να λέμε πως «αυτό το σώμα κινείται με ταχύτητα 900 χιλιόμετρα την ώρα», αλλά ότι «η ταχύτητα αυτού του σώματος είναι 900 χιλιόμετρα την ώρα ως προς το έδαφος ή τον αέρα ή σχετικά με το Φεγγάρι κ.ο.κ.»

Ο πλέον όμως σημαντικός αστρονόμος, μετά το Γαλιλαίο, που μελέτησε τις κινήσεις των σωμάτων και διετύπωσε τους θεμελιώδεις νόμους των κινήσεων αυτών ήταν ο Νεύτων (Isaac Newton, 1642 - 1727), ο οποίος με το νόμο της παγκόσμιας έλξης έδωσε τη θεωρητική ερμηνεία των νόμων του Κέπλερ και θεμελίωσε την Ουράνια Μηχανική[5].

Κατά τη διάρκεια του 19ου και 20ου αιώνα χρησιμοποιήθηκαν μαζί με τα τηλεσκόπια και άλλα βοηθητικά όργανα, όπως ραδιοτηλεσκόπια και ανιχνευτές, τα οποία έδωσαν τη δυνατότητα να γίνουν παρατηρήσεις όχι μόνο των θέσεων και κινήσεων των ουράνιων σωμάτων, αλλά και της ακτινοβολίας που εκπέμπουν. Η μόνη πηγή πληροφοριών που υπάρχει για τα ουράνια σώματα πέραν από το ηλιακό μας σύστημα, εκτός από τα βαρυτικά κύματα[6] που επιβεβαιώθηκαν πρόσφατα, είναι οι κάθε είδους ακτινοβολίες που εκπέμπονται από αυτά. Από τη μορφή του φάσματος που προκύπτει, δηλαδή από το πλήθος, την ένταση και την ενέργεια των απλών ακτινοβολιών που περιέχει, καταλήγουμε σε συμπεράσματα για την πηγή που τις εκπέμπει, όπως:

- Την ενέργεια που ακτινοβολείται από αυτήν
- Τη θερμοκρασία της
- Τη χημική της σύσταση
- Το μαγνητικό της πεδίο
- Την απόστασή της από τη Γη και την κίνησή της ως προς αυτή.
- Τη φύση και τη σύσταση του «μεσοαστρικού χώρου» που διανύει η ακτινοβολία, για να φτάσει από την πηγή στη Γη.

Έτσι, μπορούμε να έχουμε πλήρη εικόνα των παρατηρούμενων ουράνιων αντικειμένων και να εισχωρούμε στα απώτερα σημεία του Σύμπαντος.

Το Σύμπαν είναι διάχυτο από ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία[7]. Το φως που εκπέμπεται από τα άστρα είναι μέρος του συνολικού φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που συναντάται στο Σύμπαν.

Σήμερα, είναι γεγονός ότι γνωρίζουμε αρκετά πράγματα για τον κόσμο που μας περιβάλλει. Παραμένουν όμως και πάρα πολλά αναπάντητα ερωτήματα. Στη διαστημική εποχή που ζούμε, διαθέτουμε τα μέσα και τις μεθόδους έρευνας, ώστε να αισιοδοξούμε ότι αργά ή γρήγορα θα δοθούν οι απαντήσεις.

Όλα αυτά τα τόσο συναρπαστικά θέματα, που απασχολούν την Αστρονομία, αποτελούν πρόκληση για κάθε σκεπτόμενο άνθρωπο.

---

5. Βλέπε τους νόμους του, παράρτημα 1, σελ. 304

6. Με τα βαρυτικά κύματα μπορούμε να συλλέξουμε πληροφορίες για φαινόμενα που η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία αδυνατεί να μας μεταφέρει.

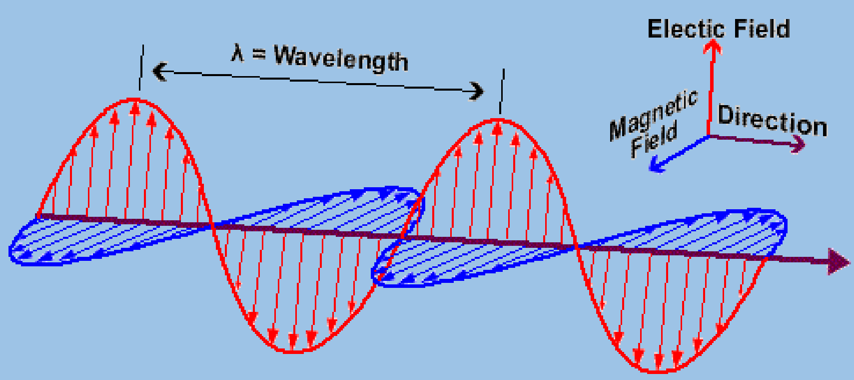
7. Βλέπε σελ. 15 - 18

(α) Ηλεκτρομαγνητική Ακτινοβολία

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (Η/Μ) έχει ιδιαίτερη σημασία για την επιστήμη της Αστρονομίας, αφού παίζει πρωταγωνιστικό ρόλο στην αστρονομική παρατήρηση. Ωστόσο, ο προσδιορισμός της φύσης της Η/Μ ακτινοβολίας με τη βοήθεια εννοιών που μας είναι οικείες από την κλασσική φυσική παρουσιάζει σημαντικές δυσκολίες. Η Η/Μ ακτινοβολία παρουσιάζει παράξενη συμπεριφορά (κυματοσωματιδιακή).

- Μια μεγάλη ομάδα φαινομένων (ανάκλαση, διάθλαση, συμβολή, περίθλαση κ.α.) ερμηνεύεται αν δεχθούμε ότι αποτελείται από ηλεκτρομαγνητικά κύματα.
- Αντίθετα η ερμηνεία πολλών άλλων φαινομένων (το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, η ακτινοβολία του μέλανος σώματος, τα γραμμικά φάσματα, κ.α.) απαιτεί να υποθέσουμε ότι αποτελείται από σωματίδια, τα αποτελούμενα φωτόνια.

Σε ορισμένα φαινόμενα δηλαδή η συμπεριφορά της είναι κυματική και σε κάποια άλλα σωματιδιακή. Άρα για να κατανοήσουμε τη φύση της χρησιμοποιούνται συμπληρωματικά, δύο έννοιες φαινομενικά αντιφατικές, το Η/Μ κύμα και το φωτόνιο.



Η/Μ κύμα: ονομάζεται ένα ηλεκτρικό και ένα μαγνητικό πεδίο που διαδίδονται μαζί στο χώρο με την ταχύτητα του φωτός: C ≈ 300.000 km/s. Παράγεται από ένα σημειακό φορτίο π.χ. από ένα ηλεκτρόνιο e^- που ταλαντώνεται αρμονικά με κάποια συχνότητα ν. Μέσα σε χρόνο μιας περιόδου (Τ) της ταλάντωσης το κύμα, αφού κινείται με ταχύτητα c, διανύει απόσταση

$$\lambda = c \cdot T \text{ ή } \lambda = c/\nu$$

Το μέγεθος λ ονομάζεται μήκος κύματος. Η συχνότητα και το μήκος κύματος είναι τα δύο θεμελιώδη χαρακτηριστικά ενός κύματος.

Φωτόνια: Είναι τα πανομοιότυπα σωματίδια από τα οποία αποτελείται μια απλή ακτινοβολία. Τα σωματίδια αυτά έχουν όλα την ίδια καθορισμένη ενέργεια (συμπεριφέρονται δηλ. σαν ενεργειακά πακέτα – κβάντα ενέργειας). Κάθε φωτόνιο κινείται με την ταχύτητα του φωτός και μεταφέρει ένα ποσό ενέργειας (Ε), ανάλογο προς τη συχνότητα ν της αντίστοιχης ακτινοβολίας:

$$E = h \cdot \nu,$$ όπου h η σταθερά του Planck.

Ένα φωτόνιο εκπέμπεται όταν κάποιο ηλεκτρόνιο ενός ατόμου μεταπηδήσει από μια τροχιά υψηλότερης ενέργειας σε μια άλλη χαμηλότερης. Μπορεί να συμβεί και το αντίστροφο: κάποιο ηλεκτρόνιο ενός ατόμου να απορροφήσει ένα φωτόνιο ορισμένης ενέργειας και να μεταπηδήσει σε τροχιά υψηλότερης ενέργειας ή ακόμα και να διαφύγει μακριά από το άτομο. Τα φαινόμενα αυτά ονομάζονται διέγερση και ιονισμός του ατόμου αντίστοιχα.

Ειδικότερα, η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που ανιχνεύεται από το ανθρώπινο μάτι (οφθαλμό) και που εκλαμβάνεται ως αντίληψη (αίσθηση) αυτής ονομάζεται φως. Συνεπώς είναι το αίτιο της όρασης. Όμως η αντίληψη αυτή του «ορατού» φωτός αποτελεί τμήμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Καλύπτει ένα εύρος μηκών κύματος που «μεταφράζονται» από το μάτι στα χρώματα του φωτεινού φάσματος (δηλαδή στα χρώματα του ουράνιου τόξου).

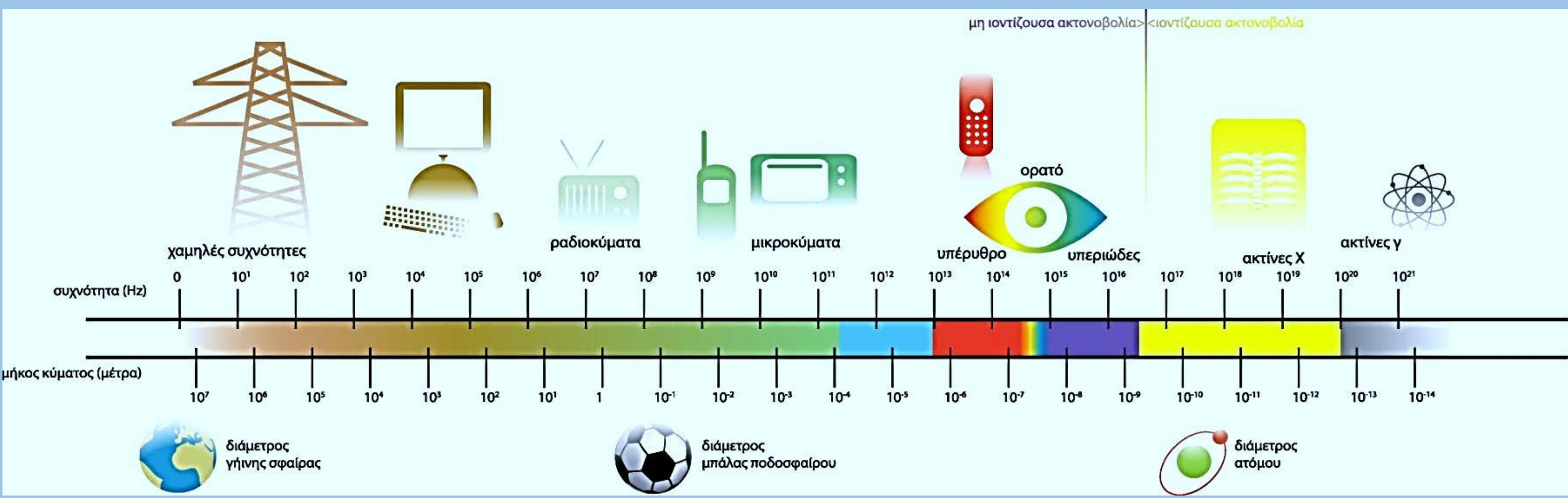
Η διάδοση του φωτός στο χώρο ακολουθεί τις εξής αρχές:

1. Αρχή του Ήρωνα: το φως διαδιδόμενο από ένα σημείο στο αμέσως επόμενο ακολουθεί, οδεύοντας τη συντομότερη χρονικά οδό. Η αρχή αυτή ισχύει για όλα τα οπτικά μέσα ακόμα και για τα «μη ισότροπα», στα οποία η συντομότερη οδός διάδοσης του φωτός δεν είναι ευθεία. Ο Ήρωνας αναφερόμενος στη συντομότερη οδό εννοούσε το μήκος της διαδρομής.
2. Το φως σε ένα ισότροπο μέσο διαδίδεται ευθύγραμμα, όταν και ο χώρος είναι ισότροπος (πρέπει δηλαδή το φως να διέρχεται και από χώρο με μη έντονη διαβάθμιση της βαρύτητας ή καμπύλωσης του χωροχρόνου, όπως αυτή εξηγείται με τη Γενική θεωρία της Σχετικότητας).
3. Αρχή του ελαχίστου χρόνου. Πρόκειται για την "Αρχή του Ήρωνα" εκπεφρασμένη από τον μαθηματικό Πιέρ ντε Φερμά (Pierre de Fermat) (1662) στην έννοια του χρόνου. Σύμφωνα με την αρχή αυτή, που είναι γνωστή και ως "Αρχή του Φερμά" (Fermat principle), το φως κατά τη διαδρομή του μέσα σε ένα μέσο από ένα σημείο A σε ένα σημείο B, ακολουθεί τον οπτικό δρόμο που θα του επιτρέψει να μεταβεί από το A στο B στο μικρότερο δυνατό χρόνο.
4. Αρχή της αντίστροφης πορείας. Όταν το φως διαδίδεται προς ορισμένο δρόμο προς μια φορά είναι δυνατό να ακολουθήσει τον ίδιο κατά αντίθετη φορά.

Γενικά είναι αποδεκτό ότι η ταχύτητα του φωτός στο κενό (c) ισούται περίπου με 300,000 km/s. Αυτή η ταχύτητα είναι η μεγαλύτερη που μπορούν να κινηθούν τα σώματα (βάσει της θεωρίας της ειδικής σχετικότητας), κάτι που αποδεικνύεται πειραματικά και είναι αξίωμα που δεχόμαστε συνεπές με την κοσμοθεωρία που ζούμε.
Ο πρώτος επιστήμονας που μέτρησε την ταχύτητα του φωτός είναι ο Δανός Αστρονόμος Όλε Ρέμερ (Ole Roemer, 25 Σεπτεμβρίου 1644 – 19 Σεπτεμβρίου 1710), που εργαζόταν στο Βασιλικό Αστεροσκοπείο των Παρισίων, βασιζόμενος σε αστρονομικά δεδομένα, όπως οι εκλείψεις των δορυφόρων του Δία. Συγκεκριμένα παρατηρώντας την Ιώ, έναν από τους δορυφόρους του Δία, μέτρησε μία μικρή μεταβολή στην περίοδο περιφοράς του δορυφόρου γύρω από το Δία, καθώς η Γη πλησίαζε τον Δία και καθώς απομακρυνόταν. Ο Roemer σκέφτηκε ότι αυτή η διαφορά ίσως είχε να κάνει με την πεπερασμένη, και άρα μετρήσιμη, ταχύτητα του φωτός. Παρατηρώντας τις εκλείψεις για διάστημα κάποιων ετών και εκτιμώντας ότι η μέση διάμετρος της τροχιάς της Γης γύρω από τον Ήλιο ήταν $2.83*10^{11}$, υπολόγισε ότι η ταχύτητα του φωτός ήταν $2.14*10^{8}$ m/s, μια αρκετά καλή προσέγγιση για τα δεδομένα της εποχής.

Για το ίδιο το φως όμως, που ταξιδεύει στο κενό, δεν υφίσταται η έννοια του χρόνου. Το ίδιο το φως δεν «καταλαβαίνει» το χρόνο, γιατί ταξιδεύει με την μέγιστη ταχύτητα και για το ίδιο ο χρόνος δεν περνά. Το μόνο που «καταλαβαίνει» το φως είναι πως ανταλλάσει ενέργεια μεταξύ διαδοχικών σημείων. Η κάθε στιγμή «χρόνου» που βιώνει είναι μόνο η κάθε επόμενη ενεργειακή ανταλλαγή που κάνει, ασχέτως αν για εμάς έχει ταξιδέψει λίγα μόνο μέτρα από το σημείο που εκπέμφθηκε ή προέρχεται από κάποιο σημείο του σύμπαντος σε ένα ταξίδι (όπως το μετράμε εμείς) κάποιων δισεκατομμυρίων ετών.

<u>Σημείωση</u>: Όταν αναφερόμαστε στο φως, εννοούμε συνήθως το σύνολο της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και όχι μόνο το «ορατό» φως (βλέπε εικ. 1.4).



Εικόνα 1.4: Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα (το σύνολο των απλών ακτινοβολιών στις οποίες αναλύεται η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία).

Όπως ήδη γνωρίζουμε, όταν το ηλιακό φως περνάει μέσα από ένα γυάλινο πρίσμα αναλύεται σε πολλές έγχρωμες ακτινοβολίες: Κάθε απλή ακτινοβολία, δεν μπορεί να αναλυθεί σε απλούστερες. Αν ξαναπεράσουμε, π.χ., την πράσινη ακτίνα μέσα από ένα άλλο πρίσμα, θα δούμε ότι διαθλάται, χωρίς να αναλύεται. Επίσης κάθε απλή ακτινοβολία χαρακτηρίζεται από την εντελώς συγκεκριμένη τιμή του μήκους κύματος και της συχνότητάς της, επομένως αποτελείται από έναν αριθμό φωτονίων ίδιας ενέργειας.

Ξέρουμε ακόμη με μεγάλη ακρίβεια ότι η ταχύτητα κάθε απλής ακτινοβολίας είναι ίση με την ταχύτητα του φωτός, γιατί αν δεν ήταν έτσι, η μικρότερη εκπομπή φωτός ενός σταθερού αστέρα, όταν παθαίνει έκλειψη απ΄ τον σκοτεινό σύντροφό του δεν θα παρατηρείτο ταυτόχρονα για τα διάφορα χρώματα.

Παραπομπές (References)

2. *Ο Ίππαρχος και οι επίκυκλοι*. Έθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Γεώτοπος (Βάση Γεωγνώσης & ψηφιακή αποθήκη εκπαιδευτικού υλικού), Δημοσιεύτηκε στις 12 Οκτ 2007, http://portal.survey.ntua.gr/geohopper/Movie_Theater/Epicycles_CPdiM.htm

4. Galilei, G. - *Dialogue concerning the two chief world systems*. Translated by Stillman Drake, The Modern Library, New York 2001, pp. 393 – 395.

ΠΗΓΕΣ ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:

Αϊνστάιν, Α. – *Η θεωρία της σχετικότητας*. Μετάφραση Σταύρος Μαρουλάκος, εκδόσεις Κορόντζη, σ. 20.

Αραμπατζής, Θ., κ.ά. (1999) *Ιστορία των Επιστημών και της Τεχνολογίας*. Γ΄ Ενιαίου Λυκείου, Ο.Ε.Δ.Β., Αθήνα, σσ. 22 – 23.

Γαβρίλης, Κ., κ.ά. (2000) *Στοιχεία Αστρονομίας & Διαστημικής*. Β΄ Ενιαίου Λυκείου, έκδοση Β΄, Ο.Ε.Δ.Β., Αθήνα, σσ. 18 – 21, 181.

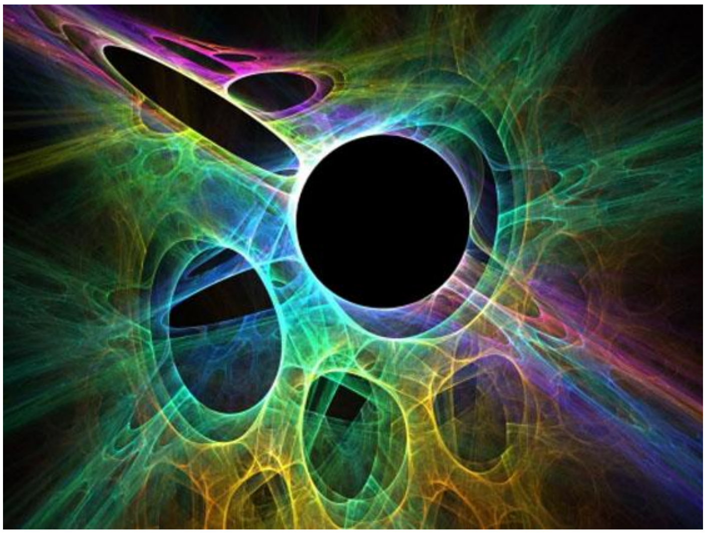
Εγκυκλοπαίδεια «Δομή». Εκδόσεις ΔΟΜΗ Α.Ε., ογδόη έκδοση, Συνεργάτες Αγγελίδης, Γ. κ. ά. Αθήναι 1976, Τόμος 10, σ. 9.

Epstein, L. (1992) *Εικόνες της σχετικότητας, 1. Ειδική Θεωρία.* Εκδόσεις κάτοπτρο, Πρώτη έκδοση, Αθήνα, σσ. 11 - 14.

Ησίοδος – *Θεογονία.* Εκδόσεις Ζήτρος, μετάφραση Σταύρος Γκιργκένης, Θεσσαλονίκη 2001, σσ. 293 – 375.

ΣΥΝΟΨΗ

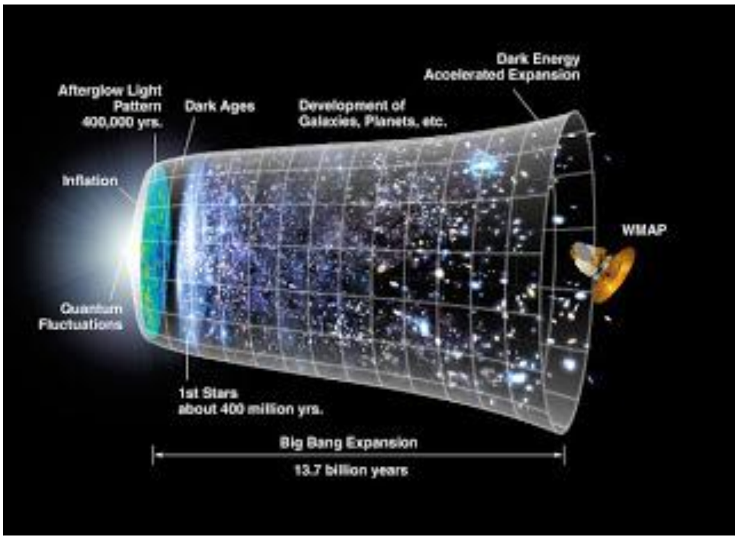
Όλα άρχισαν
σε ένα σημείο του Πολυχώρου (Multi-Space)
των 12 Διαστάσεων
Γύρω «επέπλεαν» πολλά άλλα «ξένα» Σύμπαντα.



Από μια κβαντική ταλάντωση
δημιουργήθηκε μια φυσαλίδα



Έτσι ξεκίνησε η Μεγάλη Έκρηξη (Big Bang)
πριν 13.7 δισεκατομμύρια έτη
που εξελίχτηκε στο Τοπικό Σύμπαν (Local Universe)
(ή αλλιώς το «Σύμπαν μας»).

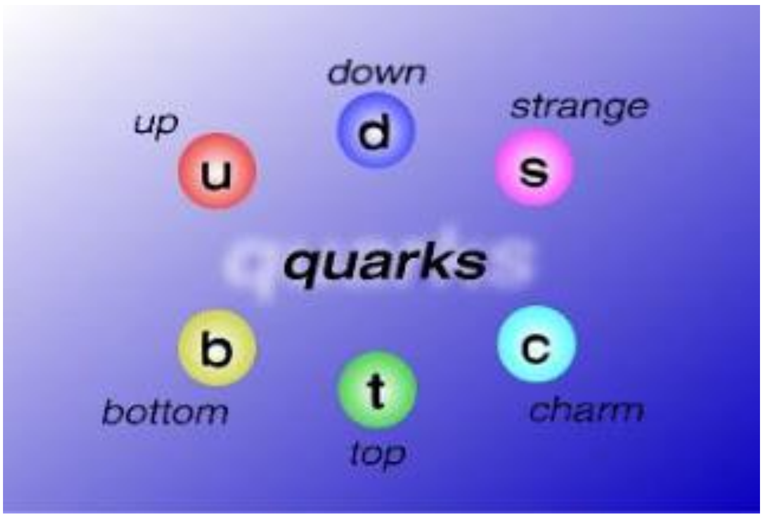


Από τότε άρχισε η κοσμική διαδικασία που ονομάζεται «Εξέλιξη» (evolution).

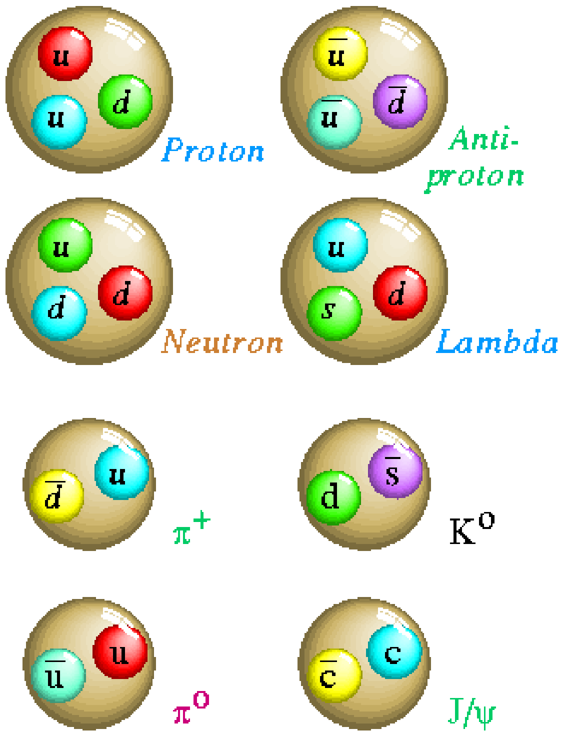
- Το πρώτο στάδιο ήταν ο Κοσμικός Πληθωρισμός (inflation). Διήρκεσε ένα απειροελάχιστο κλάσμα του δευτερολέπτου.

- Το δεύτερο στάδιο ήταν η Σκοτεινή Εποχή (Dark Ages)

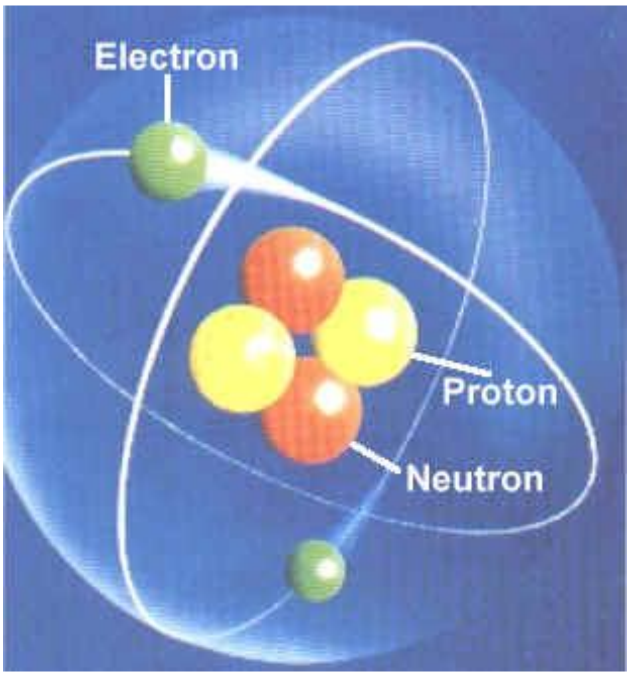
- Ακολούθησε η δημιουργία των στοιχειωδών σωματιδίων (quarks, λεπτόνια)



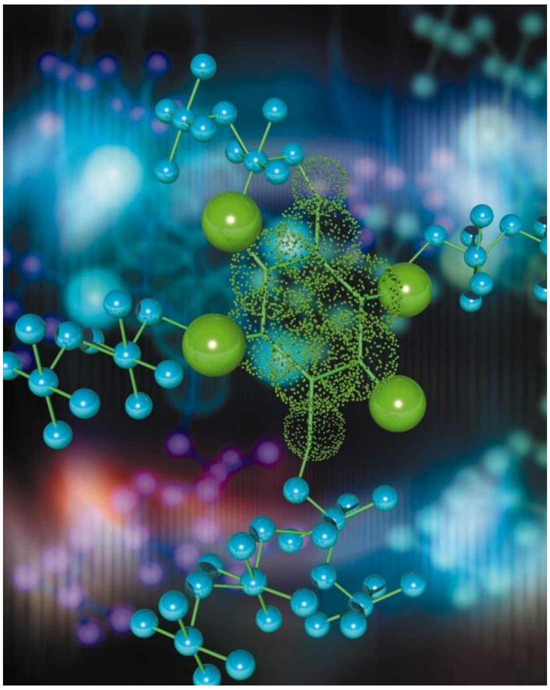
– Ακολούθησε η δημιουργία θεμελιωδών σωματιδίων (πρωτόνια, νετρόνια κ.ά.)



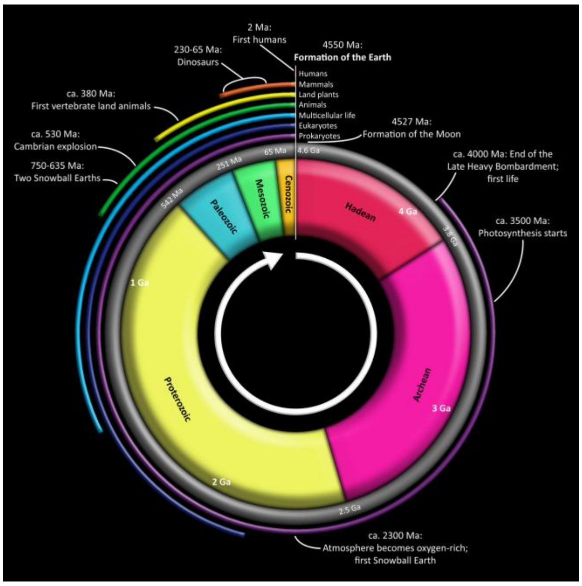
– Ακολούθησε η δημιουργία των ατόμων (υδρογόνο, ήλιο, άνθρακας κ.ά.)



- Ακολούθησε η δημιουργία των μορίων (ύδωρ, διοξείδιο του άνθρακα κ.ά.)



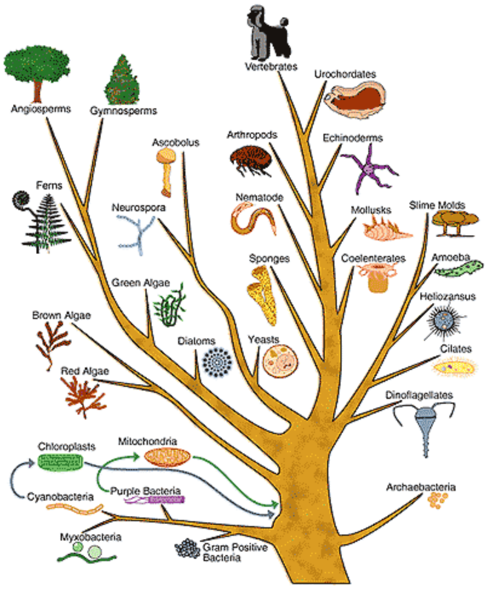
- Ακολούθησε η δημιουργία Αστέρων, Γαλαξιών κ.ά.
- Δημιουργήθηκε ο Ήλιος (πριν 4.6 δισεκατομμύρια έτη)
- Δημιουργήθηκε η Γη (πριν 4.5 δισεκατομμύρια έτη)
- Εμφανίστηκε η Ζωή στην Γη (πριν 3.8 δισεκατομμύρια έτη)



- Ο Αΐδειος Αιών (Hadean Eon) άρχισε πριν 4.500 εκατομμύρια έτη και τέλειωσε πριν 3.800 εκατομμύρια έτη.
  (Κύριο χαρακτηριστικό του: προς το τέλος του εμφανίσθηκαν μονοκύτταροι οργανισμοί χωρίς πυρήνα, δηλ. βακτήρια)
- Ο Αρχαιοζωικός Αιών (Archaen Eon) άρχισε πριν 3.800 εκατομμύρια έτη και τέλειωσε πριν 2.500 εκατομμύρια έτη.

Κύριο χαρακτηριστικό του: Εμφάνιση και άλλων μονοκυττάρων, χωρίς πυρήνα, οργανισμών)

– Ο Προτεροζωικός Αιών (Proterozoic Eon) άρχισε πριν 2.500 εκατομμύρια έτη και τέλειωσε πριν 542 εκατομμύρια έτη
(Κύριο χαρακτηριστικό του: Εμφάνιση κυττάρων με πυρήνα)

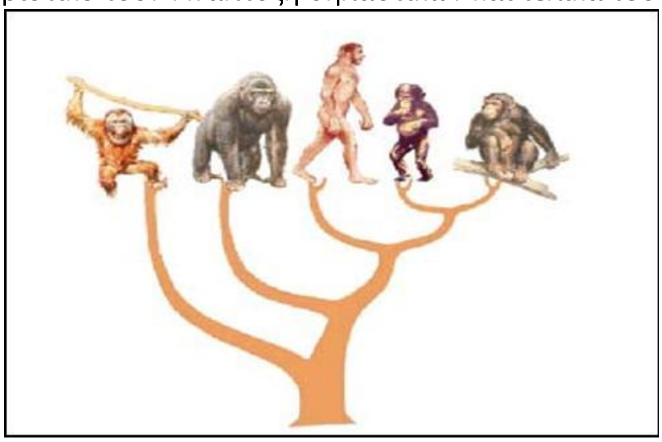


Η Εξέλιξη των Οργανισμών
από τους Μονοκύτταρους στους Πολυκύτταρους

– Ο Παλαιοζωικός Αιών (Paleozoic Era) άρχισε πριν 542 εκατομμύρια έτη και τέλειωσε πριν 251 εκατομμύρια έτη
(Κύριο χαρακτηριστικό του: Εμφάνιση εντόμων, αμφιβίων, ερπετών. Εμφάνιση φυτών)

– Ο Μεσοζωικός Αιών (Mesozoic Era) άρχισε πριν 251 εκατομμύρια έτη και τέλειωσε πριν 65 εκατομμύρια έτη
(Κύριο χαρακτηριστικό του: Ανάπτυξη δεινοσαύρων, εμφάνιση θηλαστικών)

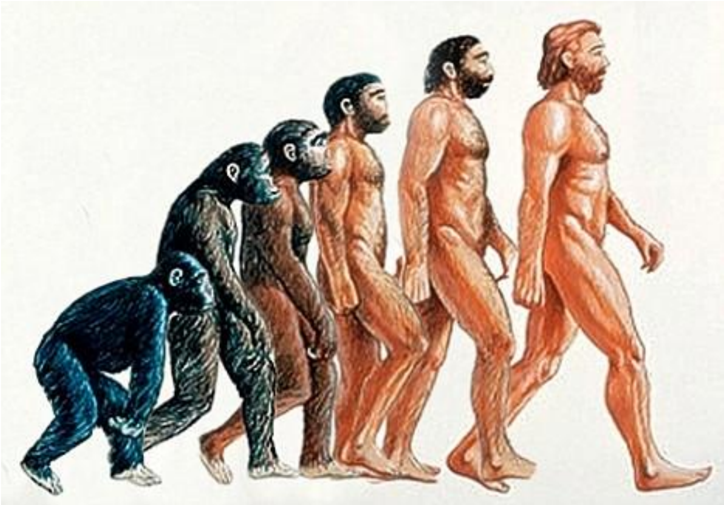
– Ο Καινοζωικός Αιών (Cenozoic Era) άρχισε πριν 65 εκατομμύρια έτη και διαρκεί έως σήμερα.
(Κύριο χαρακτηριστικό του: Ανάπτυξη θηλαστικών και τελικά του ανθρώπου)



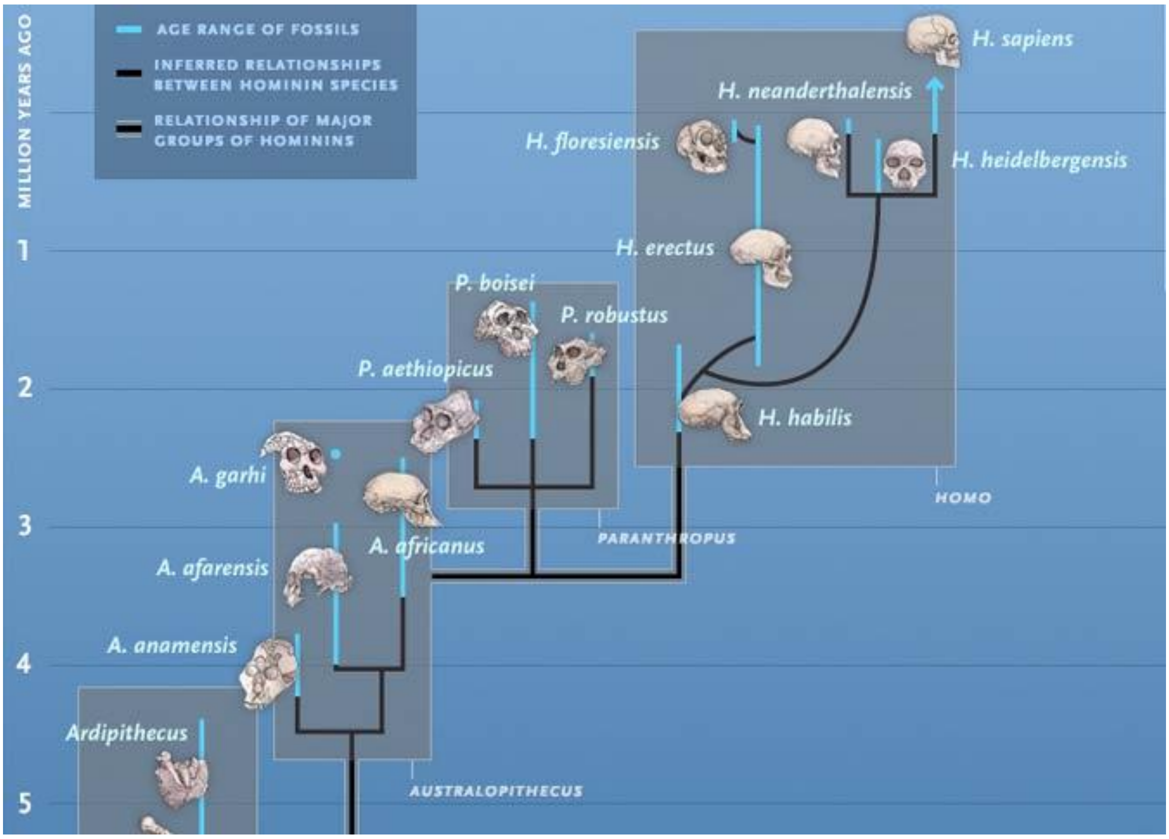
Η Εξέλιξη των Πρωτευόντων

Στην συνέχεια είχαμε την εξέλιξη των διαφόρων ειδών των προανθρώπων μέχρι να φτάσουμε στο σημερινό είδος “Homo Sapiens Sapiens”.

Οι περισσότεροι πιστεύουν στο λανθασμένο απλοποιητικό σειριακό μοντέλο από τον πίθηκο στον άνθρωπο.



Στην πραγματικότητα η Ανθρώπινη Εξέλιξη είναι (όπως όλες οι εξελίξεις άλλωστε) κλαδική.



Η εξέλιξη συνεχίστηκε με τη διασπορά των ανθρώπων "Homo Sapiens Sapiens".

Πηγή: Κορρές, Ι. (2010) *Ινδοευρωπαίοι και Έλληνες. Μέρος 1: Εισαγωγή*. IonnKorr Weblog, σσ. 2 – 13, http://ionnkorr.blogspot.com/2010/10/1.html


Από το ντοκιμαντέρ του Carl Sagan "Cosmos".
Big Bang .mpeg
Φιλμάκι :Το χρονικό του κόσμου
http://www.youtube.com/watch?feature=player_detailpage&v=-_LFotI2j7E


ΚΥΡΙΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2:
ΑΡΧΗ ΚΑΙ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΣΥΜΠΑΝΤΟΣ

«Μπορείς να βρεις ολόκληρο το Σύμπαν κρυμμένο στα πιο ασήμαντα αντικείμενα»
Wislawa Szymborska

Ανέκαθεν, όχι μόνο η Αστρονομία, αλλά και η Φιλοσοφία, οι αρχαίες θρησκείες και οι μυθολογίες όλων των λαών έθεταν ερωτήματα για την δημιουργία του Σύμπαντος, τη μεταβολή και το μέλλον του.

Ο τομέας της Αστρονομίας που ασχολείται με τα πιο πάνω ερωτήματα, δηλαδή τη γένεση, τη δομή και την εξέλιξη του Σύμπαντος ονομάζεται **Κοσμολογία.** Σύμφωνα με την επιστήμη της Κοσμολογίας, η σύνθεση της ιστορίας του Σύμπαντος στηρίζεται σε λίγα φαινόμενα κοσμολογικής σημασίας (2.1 Κοσμολογικές υποθέσεις – 2.2 Νόμος του Χαμπλ – 2.3 Ακτινοβολία υποβάθρου) και στις γενικότερες θεωρίες της Φυσικής[1].

2.1 Κοσμολογικές υποθέσεις

Η σύνθεση των κοσμολογικών μοντέλων (όπως αυτό του Big Bang που εξηγεί πολύ ικανοποιητικά σχεδόν το σύνολο των παρατηρησιακών δεδομένων και θα δούμε στη συνέχεια) στηρίζεται σε τρείς βασικές υποθέσεις που αφορούν το Σύμπαν, γνωστές με τον όρο **κοσμολογική αρχή:** Στην παγκοσμιότητα των φυσικών νόμων, στην ομοιογένεια και στην ισοτροπία του Σύμπαντος.

(α) Η παγκοσμιότητα των φυσικών νόμων

Το σύνολο των αντικειμένων από τα οποία συνίσταται το Σύμπαν μπορούμε να τα κατατάξουμε σε δύο κατηγορίες: α) σε αυτά που αντιλαμβανόμαστε άμεσα με τις αισθήσεις μας, καθετί δηλαδή που χρησιμοποιούμε ή μας περιστοιχίζει στην καθημερινή μας ζωή και β) στα αντικείμενα των οποίων την ύπαρξη ανιχνεύουμε έμμεσα με την βοήθεια επιστημονικών οργάνων και των νόμων της Φυσικής. Τέτοια είναι τα άτομα, τα μόρια, τα στοιχειώδη σωματίδια, οι μελανές οπές, αστέρες και γαλαξίες που δεν μπορούμε να δούμε με οπτικά τηλεσκόπια κ.ά.

---

1. Βλέπε Κεφάλαιο 3, σελ. 107 - 173

Οι μεταβολές και αλληλεπιδράσεις όλων αυτών των συμβάντων περιγράφονται από τους φυσικούς νόμους. Οι φυσικοί νόμοι ωστόσο, ανακαλύφθηκαν από τον άνθρωπο με βάση πειράματα και παρατηρήσεις, που έγιναν πάνω και πέριξ του πλανήτη Γη. Παρόλα αυτά υποθέτουμε ότι ισχύουν παντού στο Σύμπαν, σε κάθε τόπο και χρόνο. Ισχυρές ενδείξεις υποστηρίζουν αυτή την υπόθεση:

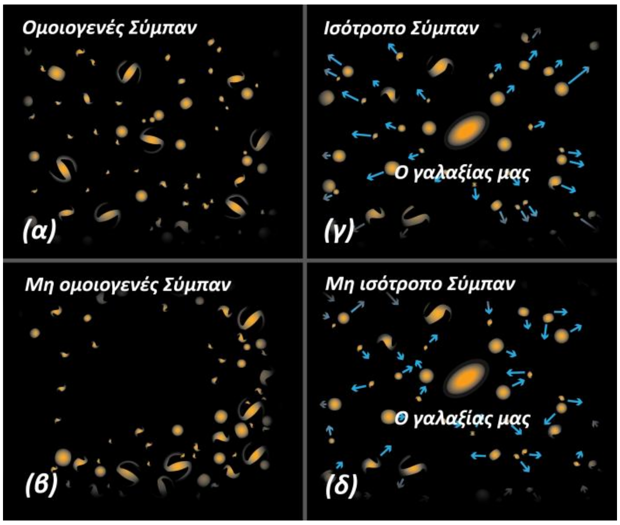
- Η φασματική ανάλυση των ακτινοβολιών που εκπέμπουν και οι πιο μακρινοί γαλαξίες δείχνει ότι και αυτοί αποτελούνται από τα ίδια στοιχεία με αυτά που γνωρίζουμε στη Γη.
- Οι κινήσεις των αστέρων και των γαλαξιών που έχουν μελετηθεί υπακούουν στους νόμους της Μηχανικής. Δηλαδή στους ίδιους νόμους με τους οποίους περιγράφονται οι κινήσεις των πλανητών κ.τ.λ. ή μιας πέτρας που εκσφενδονίζουμε στον αέρα.

Με βάση αυτές τις ενδείξεις δεχόμαστε την παγκοσμιότητα των φυσικών νόμων ως πρώτη βασική υπόθεση που είμαστε υποχρεωμένοι να κάνουμε, για να θεμελιώσουμε οποιοδήποτε κοσμολογικό μοντέλο.

Υποθέτουμε λοιπόν ότι οι ίδιοι αναλλοίωτοι νόμοι εφαρμόζονται σε κάθε περιοχή του Σύμπαντος και σε κάθε χρονικό διάστημα, στο παρελθόν ή στο μέλλον.

(β)* Το Σύμπαν είναι ομοιογενές

Είναι φανερό ότι οι πυκνότητες της ύλης και της ακτινοβολίας είναι πολύ μεγαλύτερες στους αστέρες και στους γαλαξίες, παρά στο μεσοαστρικό και μεσογαλαξιακό χώρο αντίστοιχα. Αν όμως υπολογίσουμε τις μέσες πυκνότητες της ύλης και της ακτινοβολίας πολύ μεγάλων περιοχών του σύμπαντος, διαπιστώνουμε ότι αυτό δεν ισχύει. Η μέτρηση του αριθμού των σμηνών των γαλαξιών έδειξε ότι η κατανομή τους είναι σχεδόν σταθερή σε συνάρτηση με την απόσταση τους από τη Γη. Αυτή η παρατήρηση μας οδηγεί στην υπόθεση ότι η κατανομή της ύλης και της ενέργειας στο Σύμπαν είναι ομοιογενής, δηλαδή, δε μεταβάλλεται σε συνάρτηση με την απόσταση από έναν επίγειο ή οποιοδήποτε παρατηρητή, που είναι ακίνητος σχετικά με το κέντρο μάζας της ύλης της περιοχής του (βλέπε εικ. 2.1 α,β)



Εικόνα 2.1: α) Ομοιογενές Σύμπαν, β) Μη ομοιογενές Σύμπαν, γ) Ισότροπο Σύμπαν, δ) Μη Ισότροπο Σύμπαν

(γ)* Το Σύμπαν είναι ισότροπο

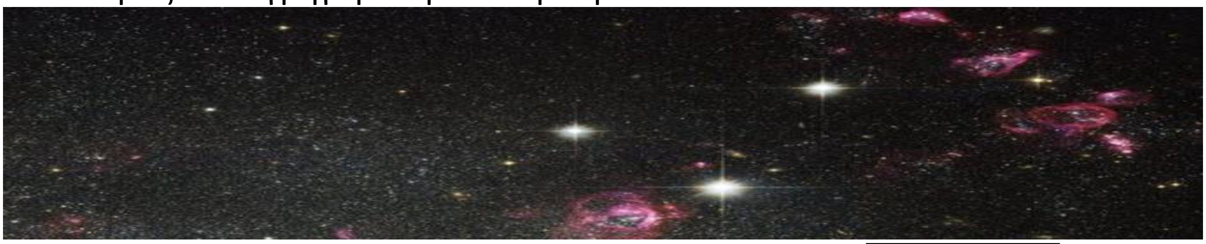
Φαίνεται ακόμη ότι οι μέσες πυκνότητες της ύλης και της ακτινοβολίας δε μεταβάλλονται ούτε σε συνάρτηση με την κατεύθυνση στην οποία βρίσκεται η περιοχή του Σύμπαντος σε σχέση με τον παρατηρητή. Υποθέτουμε λοιπόν ότι το Σύμπαν είναι ισότροπο: Η ύλη και η ακτινοβολία κατανέμονται ομοιόμορφα προς κάθε κατεύθυνση (βλέπε εικ. 2.1 γ,δ). Μετρήσεις της έντασης της ακτινοβολίας μικροκυμάτων και των ακτινών Χ έδειξαν ότι είναι ανεξάρτητη από τον προσανατολισμό του συλλέκτη της ακτινοβολίας.

*Η υπόθεση της ομοιογένειας και της ισοτροπίας του Σύμπαντος μπορεί να αποδοθεί με την ακόλουθη πρόταση: οι φυσικές ιδιότητες του Σύμπαντος, πέρα από τοπικές ανομοιομορφίες είναι οι ίδιες προς κάθε κατεύθυνση και ανεξάρτητες από τη θέση του παρατηρητή.

2.2 Ο νόμος του Hubble και η διαστολή του Σύμπαντος

Στις πρώτες δεκαετίες του 20ού αιώνα, ο αστρονόμος Σλίφερ (Slipher) κατάφερε να μετρήσει με τη βοήθεια του φαινομένου Doppler[2] τις ακτινικές ταχύτητες ως προς τη γη δεκάδων γαλαξιών. Κατέληξε σε ένα ενδιαφέρον συμπέρασμα: όλοι οι μακρινοί γαλαξίες απομακρύνονται από το Γαλαξία. Το φαινόμενο αυτό ονομάστηκε φυγή των γαλαξιών.

Την ίδια χρονική περίοδο, ο αστρονόμος Hubble μέτρησε τις αποστάσεις από τη Γη αρκετών από τους παραπάνω γαλαξίες και τις συσχέτισε με τις ακτινικές τους ταχύτητες. Διαπίστωσε ότι οι πλέον μακρινοί γαλαξίες απομακρύνονται από το Γαλαξία με ακτινικές ταχύτητες που είναι ανάλογες των αποστάσεων τους από αυτόν. Δηλαδή, όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση ενός γαλαξία από το δικό μας τόσο γρηγορότερα απομακρύνεται απ' αυτόν[3].



Η σχέση αυτή, γνωστή ως νόμος του Hubble, γράφεται: $\upsilon = H \cdot d$ όπου

υ είναι η ταχύτητα απομάκρυνσης του γαλαξία,

d η απόστασή του και

H μια σταθερά, που ονομάζεται **σταθερά του Hubble**, η οποία υπολογίζεται να είναι ίση με $H = \upsilon/d$ 75km/sec/Mpc ή 20km/s/Mly (Mly=10^6 ε.φ.)

2. Βλέπε το φαινόμενο του, σελ. 205
3. Φυσικά, οι γαλαξίες δεν απομακρύνονται ο ένας από τον άλλο, μέσα σε ένα άπειρο και αδειανό διάστημα, αλλά το «ξεχείλωμα» του ιδίου αυτού χώρου συμπαρασύρει και τους γαλαξίες (για καλύτερη κατανόηση βλέπε άρθρο του Δεληβοριά, Α. (2017) «*Η Διαστολή του Σύμπαντος και το Παράδοξο του Olbers*». Ίδρυμα Ευγενίδου, https://www.eef.edu.gr/el/arthra/h-diastoli-tou-sympantos-kai-to-paradokso-tou-olbers/?sa=X&ved=2ahUKEwiTis77yJnnAhWy1aYKHTEuDo4QFjAAegQIAhAB).

Ο νόμος του Hubble μπορεί να ερμηνευτεί στα πλαίσια της αρχής της ομοιογένειας του Σύμπαντος, αν δεχτούμε ότι ολόκληρο το Σύμπαν διαστέλλεται ομοιόμορφα. *Για να το καταλάβουμε, ας φανταστούμε ένα σφαιρικό μπαλόνι στην επιφάνεια του οποίου έχουμε σχεδιάσει στίγματα. Παρατηρούμε ότι τα στίγματα απομακρύνονται μεταξύ τους, αν αρχίσουμε να το φουσκώνουμε. Από οποιοδήποτε στίγμα και αν κάνουμε την παρατήρηση, βλέπουμε ότι όλα τα υπόλοιπα απομακρύνονται από αυτό. Όσο πιο απομακρυσμένα μεταξύ τους είναι δύο στίγματα, τόσο περισσότερο αυξάνεται η απόσταση που τα χωρίζει καθώς φουσκώνουμε το μπαλόνι. Τα στίγματα δεν κινούνται πάνω στην επιφάνεια του μπαλονιού. Η σχετική τους απομάκρυνση οφείλεται στη διαστολή της ίδιας της επιφάνειας πάνω στην οποία βρίσκονται. Η σημαντικότερη ίσως διαφορά μεταξύ του πειράματος που περιγράψαμε και των πραγματικών φαινομένων βρίσκεται στο ότι η επιφάνεια του μπαλονιού έχει δύο διαστάσεις, ενώ ο πραγματικός χώρος τρεις.*

Η προσπάθεια ερμηνείας του νόμου του Hubble μας οδήγησε στο συμπέρασμα ότι το Σύμπαν διαστέλλεται. Το φαινόμενο αυτό αφορά ολόκληρο το Σύμπαν και όχι κάποιο τμήμα του. Επομένως, η διαστολή του Σύμπαντος έχει κοσμολογικό χαρακτήρα˙ αποτελεί μια θεμελιώδη προϋπόθεση που πρέπει να ικανοποιείται από οποιοδήποτε θεωρητικό μοντέλο αναφέρεται σ’αυτό.

2.3 Η ακτινοβολία υποβάθρου

Το Σύμπαν όπως διαπιστώσαμε διαστέλλεται. Αν υπήρχε η δυνατότητα να ακολουθήσουμε αντίστροφα την πορεία του χρόνου, σ' ένα πάρα πολύ μακρινό παρελθόν, η συγκέντρωση της ύλης θα ήταν εξαιρετικά μεγάλη και οι βαρυτικές έλξεις πολύ ισχυρές. Για να πραγματοποιηθεί η διαστολή του Σύμπαντος, έπρεπε να εξουδετερωθεί η προκαλούμενη από τη βαρύτητα τάση για συστολή. Αυτό όμως θα ήταν δυνατό μόνο στην περίπτωση που τα σωματίδια της ύλης κινούνταν με πολύ μεγάλες ταχύτητες. Επομένως, την εποχή αυτή το Σύμπαν θα πρέπει να ήταν υπερβολικά πυκνό και θερμό[4] και η ύλη να βρισκόταν σε κατάσταση πλήρους ιονισμού. *Γνωρίζουμε όμως ότι ένα πολύ πυκνό και θερμό σώμα εκπέμπει ακτινοβολία συνεχούς φάσματος. Όσο πιο υψηλή είναι η θερμοκρασία του, τόσο περισσότερο μετατοπισμένο προς μικρότερα μήκη κύματος είναι το φάσμα της ακτινοβολίας του.*

Αν ζούσαμε την εποχή αυτή θα βλέπαμε φως λαμπρότερο από το ηλιακό, προερχόμενο όχι από συγκεκριμένη πηγή, να διαχέεται ομοιόμορφα σε όλον το χώρο. Τι απέγινε η ακτινοβολία αυτή;

Οι επιστήμονες πρόβλεψαν αρκετές δεκαετίες πριν ότι καθώς το Σύμπαν διαστέλλεται, ψύχεται, επομένως και το φάσμα της ακτινοβολίας αυτής θα πρέπει να μετατοπίζεται συνεχώς προς μεγαλύτερα μήκη κύματος. Έτσι κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι σήμερα ολόκληρος ο χώρος θα πρέπει να διαχέεται ομοιόμορφα από μια ακτινοβολία μελανού σώματος[5] θερμοκρασίας περίπου 5 K.

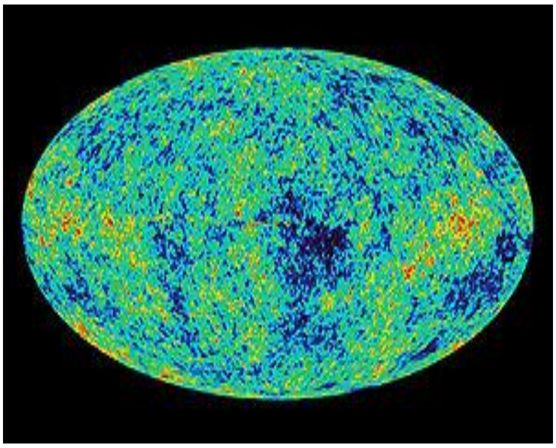
Το 1965 ανακαλύφθηκε μια ακτινοβολία να έρχεται με την ίδια ένταση από κάθε κατεύθυνση του χώρου. Η ακτινοβολία αυτή ονομάστηκε **ακτινοβολία υποβάθρου** και αντιστοιχεί σε ακτινοβολία μελανού σώματος θερμοκρασίας 2,7K. Χαρακτηρίζεται από μεγάλη ομοιογένεια και ισοτροπία αποδεικνύοντας την ομοιόμορφη διαστολή του Σύμπαντος και προέρχεται από την εποχή της «πύρινης σφαίρας», που ακολούθησε τη μεγάλη έκρηξη (βλέπε εικ. 2.2 και διαγρ. 2.3, σελ. 37).

Η κοσμική ακτινοβολία υποβάθρου δεν είναι παρά το πιο αρχέγονο απομεινάρι του πρώτου φωτός. Το φως αυτό απελευθερώθηκε μόλις το Σύμπαν άρχισε να ψύχεται και να διαστέλλεται αρκετά ώστε να επιτρέπει στα φωτόνια να ταξιδεύουν ελεύθερα. Αυτό συνέβη, όπως υπολογίζουν οι ειδικοί, «μόλις» 380.000 χρόνια μετά τη λεγόμενη «Μεγάλη Έκρηξη».

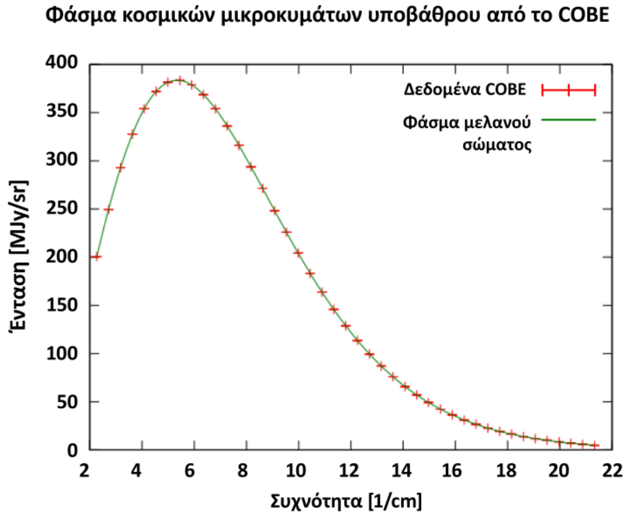
4. Η απόλυτη θερμοκρασία ενός σώματος είναι ανάλογη προς την μέση κινητική ενέργεια των δομικών του σωματιδίων. Όταν οι ταχύτητές τους έχουν μεγάλες τιμές, είναι μεγάλη και η μέση κινητική τους ενέργεια, άρα και η θερμοκρασία του σώματος (βλέπε σύγγραμμα του Γαβρίλη, Κ. κ.ά. (2000) «*Στοιχεία Αστρονομίας & Διαστημικής*». Β΄ Ενιαίου Λυκείου, έκδοση Β΄, Ο.Ε.Δ.Β., Αθήνα, σ. 133).

5. Το ιδανικό σώμα, το οποίο απορροφά όλη την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που προσπίπτει πάνω του - που σημαίνει ότι δεν ανακλά ούτε διαχέει το προσπίπτον σε αυτό φως, ούτε αφήνει το φως να το διαπεράσει - και που εκπέμπει ακτινοβολία συνεχούς φάσματος (φωτόνια κάθε συχνότητας, σε διαφορετικά ωστόσο ποσοστά) είναι γνωστό ως **μελανό σώμα.** Σε αντίθεση με την εικόνα που δίνεται από την ονομασία του, το ίδιο το σώμα εκπέμπει κάποια ακτινοβολία, το φάσμα της οποίας εξαρτάται μόνο από την θερμοκρασία του. Στην ουσία το μέλαν σώμα αποτελεί ένα εξιδανικευμένο μοντέλο της ύλης, που επινοήθηκε για να διευκολυνθεί η μελέτη της θερμικής ακτινοβολίας των πραγματικών σωμάτων.

Γενικά ένα οποιοδήποτε σώμα σε κάποια μη μηδενική θερμοκρασία εκπέμπει ακτινοβολία. Αν είναι τέλειο μέλαν σώμα, ο συντελεστής εκπομπής του θα είναι ίσος με τη μονάδα. Για κάθε πραγματικό σώμα όμως ο συντελεστής εκπομπής είναι μικρότερος από τη μονάδα. Ως συντελεστής εκπομπής ενός σώματος ορίζεται ο λόγος της ακτινοβολούμενης ενέργειας από το σώμα σε σχέση με την ακτινοβολούμενη ενέργεια ενός μελανού σώματος που βρίσκεται στην ίδια θερμοκρασία. Έτσι το μέλαν σώμα αποτελεί ένα όριο το οποίο μπορούν να προσεγγίσουν σε κάποιο βαθμό τα φυσικά σώματα.



Εικόνα 2.2: Χαρτογράφηση της ανισοτροπίας της κοσμικής ακτινοβολίας υποβάθρου από το δορυφόρο WMAP.



Διάγραμμα 2.3: Καμπύλη κατασκευασμένη με βάση τα δεδομένα από το φασματοσκόπιο FIRAS του δορυφόρου COBE.

Στην εικόνα 2.2 βλέπουμε την σχηματοποιημένη καταγραφή δεδομένων από τον δορυφόρο WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe) της NASA, ο οποίος μετρά προς διάφορες κατευθύνσεις τη θερμοκρασία της θερμικής ακτινοβολίας που απελευθερώθηκε κατά τη διάρκεια της μεγάλης έκρηξης που δημιούργησε το σύμπαν – γνωστής και ως κοσμική ακτινοβολία υποβάθρου. Σκοπός του WMAP είναι να ανιχνεύσει μικροσκοπικές διαφορές στην ακτινοβολία υποβάθρου ούτως ώστε να μπορούν να ελεγχθούν τα διάφορα μοντέλα που περιγράφουν την εξέλιξη του σύμπαντος. Αν και η ακτινοβολία αυτή είναι διάχυτη και δεν αφορά (πλέον) κανένα συγκεκριμένο σώμα, το φάσμα της παρουσιάζει εκπληκτική συμφωνία με τον νόμο της ακτινοβολίας του μέλανος σώματος. Πρόκειται για την πιο τέλεια προσέγγιση που έχει καταγράφει ποτέ. Το διάγραμμα 2.3 προέρχεται από προηγούμενη αποστολή με παρόμοιο σκοπό, από τον δορυφόρο COBE (Cosmic Background Explorer). Είναι γραφική παράσταση της έντασης της ακτινοβολίας ως προς τον αριθμό των κυμάτων ανά εκατοστό. Η συμφωνία των πειραματικών μετρήσεων με την θεωρία είναι τέτοια ώστε τα 34 σημεία που τοποθετήθηκαν για να σχηματίσουν την καμπύλη καλύφθηκαν ακριβώς από την καμπύλη που προβλέπει η θεωρία, και τα διαστήματα λάθους ήταν τόσο μικρά που δεν ξεπερνούν το πάχος της γραμμής. Τα δεδομένα δείχνουν ότι το 99.97% της ακτινοβολίας υποβάθρου απελευθερώθηκε μέσα στον πρώτο χρόνο από τη στιγμή της μεγάλης έκρηξης, και αντιστοιχούν στο φάσμα μελανού σώματος θερμοκρασίας 2,7 ˚K.

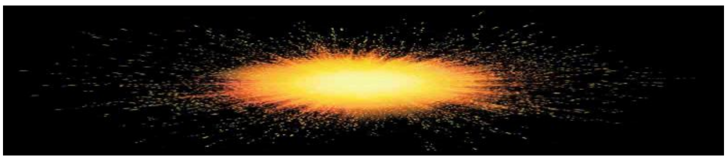
Ο νόμος του Hubble και η ακτινοβολία υποβάθρου είναι δύο από τα πλέον σημαντικά για την Κοσμολογία δεδομένα των αστρονομικών παρατηρήσεων, γιατί αφορούν συνολικές ιδιότητες του Σύμπαντος και επομένως κάθε θεωρία για το Σύμπαν οφείλει να τα προβλέπει και να δίνει την ερμηνεία τους.

2.4 Δημιουργία του Σύμπαντος – Η Μεγάλη Έκρηξη

Τα πιο παραδεκτά σύγχρονα κοσμολογικά μοντέλα στηρίζονται αφενός στην υπόθεση της «Μεγάλης Έκρηξης» για τη δημιουργία του σύμπαντος και αφετέρου στη Θεωρία της Σχετικότητας του Einstein για τη δομή και εξέλιξη του.

Σ’ ένα διαστελλόμενο σύμπαν - με δεδομένα το νόμο του Hubble και την ακτινοβολία υποβάθρου - μπορεί να δεχτεί κανείς, ακολουθώντας αντίστροφα τη διαστολή του προς το παρελθόν, πως σε κάποια πολύ απομακρυσμένη εποχή, όλοι οι γαλαξίες ήταν συμπιεσμένοι μαζί, σε μία μάζα τεράστιας πυκνότητας και θερμοκρασίας. Ολόκληρο το σύμπαν (ολόκληρη δηλαδή η ύλη και η ενέργεια που περιέχει) ήταν περιορισμένο σε μία περιοχή με απειροελάχιστο όγκο, που δεν είναι δυνατό να περιγραφεί με τη γλώσσα της σημερινής Φυσικής και των Μαθηματικών.

Πιστεύεται ότι εδώ και 13,7 δισεκατομμύρια χρόνια, κάποια στιγμή (t = 0), το Σύμπαν, δηλαδή ο χώρος, ο χρόνος, η ύλη και η ακτινοβολία, δημιουργήθηκαν με μια μεγάλη έκρηξη, ένα φαινόμενο δημιουργίας που προκάλεσε το ξεκίνημα της διαστολής του σύμπαντος.



(α) Η ηλικία του Σύμπαντος

Την ηλικία του Σύμπαντος μπορούμε να την υπολογίσουμε, χρησιμοποιώντας τον νόμο του Hubble: $υ = H \cdot d$ (2.1)

Γνωρίζουμε ότι η σημερινή απόσταση δύο γαλαξιών: $d = υ \cdot t$, αν υ η ακτινική ταχύτητα απομάκρυνσής τους και t η ηλικία του Σύμπαντος.

Αν αντικαταστήσουμε το υ στη σχέση (2.1) και λύσουμε ως προς t, προκύπτει ότι: $t = 1/H$

δηλαδή, η ηλικία του Σύμπαντος είναι ίση με το αντίστροφο της σταθεράς του Hubble.

Για **H** = 20 km/s/Mly και με δεδομένο ότι

1Mly = $10^6 \cdot 3 \cdot 10^5$ (Km/s) $\cdot$ 365 $\cdot$ 24 $\cdot$ 3.600 s = $9{,}46 \cdot 10^8$ Km

έχουμε ότι

t = $4{,}73 \cdot 10^{17}$ s = $1{,}5 \cdot 10^{10}$ y (έτη)

Ώστε, η μέγιστη πιθανή τιμή της ηλικίας του Σύμπαντος είναι περίπου 15 δισεκατομμύρια έτη. Μέγιστη γιατί οι βαρυτικές έλξεις προκαλούν μείωση της ταχύτητας διαστολής του Σύμπαντος σε συνάρτηση με το χρόνο.

(β) Η άκρη του Σύμπαντος

Όπως είδαμε, οι ταχύτητες που παρατηρούνται καθώς και οι αποστάσεις μεταξύ των απομακρυσμένων γαλαξιών, μας έδωσαν τη δυνατότητα να υπολογίσουμε κατά προσέγγιση το χρόνο που έχει διαρκέσει η διαστολή του Σύμπαντος, δηλαδή πριν από πόσο χρόνο έγινε η Μεγάλη Έκρηξη. Αυτό μας επιτρέπει αυτομάτως να υπολογίσουμε και τη μέγιστη έκταση που μπορεί να έχει το σύμπαν. Η έκταση του λοιπόν, δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερη από το γινόμενο της ηλικίας του σύμπαντος επί την ταχύτητα του φωτός[6]. Μήπως αυτό σημαίνει ότι το σύμπαν έχει κάποια άκρη ή κάποια εξωτερική επιφάνεια κάπου μέσα στο χώρο; Ακόμη, θα μπορούσατε να ρωτήσετε: «και τι υπάρχει περά από αυτό το σύνορο;».

Ωστόσο στην Αστρονομία υπάρχει η λεγόμενη «κοσμολογική αρχή», σύμφωνα με την οποία όλα τα τμήματα του σύμπαντος είναι ίδια, ή τουλάχιστον είναι ίδια όταν έχουν και την ίδια ηλικία. Επομένως δεν μπορεί να υπάρχει κάποιο μέρος με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, όπως είναι η άκρη του σύμπαντος.

Αυτό που εμείς βλέπουμε είναι μέχρι εκεί που ταξίδεψε το φως από την Μεγάλη Έκρηξη, όμως αυτό το «σύνορο» επεκτείνεται ραγδαία, οπότε δεν υπάρχει κάποιο συγκεκριμένο σύνορο κάπου μέσα στο χώρο. Αυτό μπορεί να συμβαίνει με τον ίδιο τρόπο που ένας ζωγράφος βλέπει τον ορίζοντα σαν την άκρη ενός επίπεδου τοπίου το οποίο εκτείνεται στο άπειρο!

Τελικά μπορούμε να δούμε ολόκληρο το Σύμπαν;

> Όχι, διότι το Σύμπαν διαστέλλεται επιταχυνόμενο. Σε ένα τέτοιο Σύμπαν μας περιβάλλει ένα σύνορο πέραν του οποίου συμβαίνουν γεγονότα τα οποία δεν θα δούμε ποτέ. Το σύνορο αυτό ορίζει έναν κοσμικό ορίζοντα γεγονότων. Σε ένα επιταχυνόμενο Σύμπαν η απόσταση Χαμπλ παύει να αυξάνεται. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το φως που εκπέμπεται από γαλαξίες, οι οποίοι κινούνται με ταχύτητες μεγαλύτερες από την ταχύτητα του φωτός, να παγιδεύεται πέραν της αποστάσεως Χαμπλ και να μην φτάνει ποτέ σε εμάς[7].

---

6. Το Σύμπαν όπως υπολογίσαμε ξεκίνησε περίπου πριν 13,7 δισεκατομμύρια χρόνια. Επομένως η ακτίνα του παρατηρήσιμου Σύμπαντος πρέπει να είναι 13,7 δισεκατομμύρια έτη φωτός (ή περίπου $1{,}4 \times 10^{26}$ μέτρα). Όμως, κάθε πέντε δευτερόλεπτα το Σύμπαν διαστέλλεται τόσο, όσος περίπου είναι ο χώρος που καταλαμβάνει ο γαλαξίας μας! Γι’ αυτό και η πραγματική ακτίνα του Σύμπαντος είναι 45 και όχι 14 δισεκατομμύρια έτη φωτός που είναι η ηλικία του Κόσμου (βλέπε άρθρο «*Ζούμε σ’ ένα Σύμπαν…*» Physics4u’s Weblog, 11/02/2012, https://physics4u.wordpress.com/2012/02/11/%CF%8D-%CE%AD-%CF%8D-2/)

7. Βλέπε σύγγραμμα της Χαλκιά, Κ. (2006) «*Το Ηλιακό Σύστημα μέσα στο Σύμπαν – Η διαδρομή από την επιστημονική στη σχολική γνώση*». Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο, σ. 506

Η θεωρία της Μεγάλης Έκρηξης είναι η πλέον αποδεκτή εκδοχή της Ιστορίας του Σύμπαντος σήμερα.

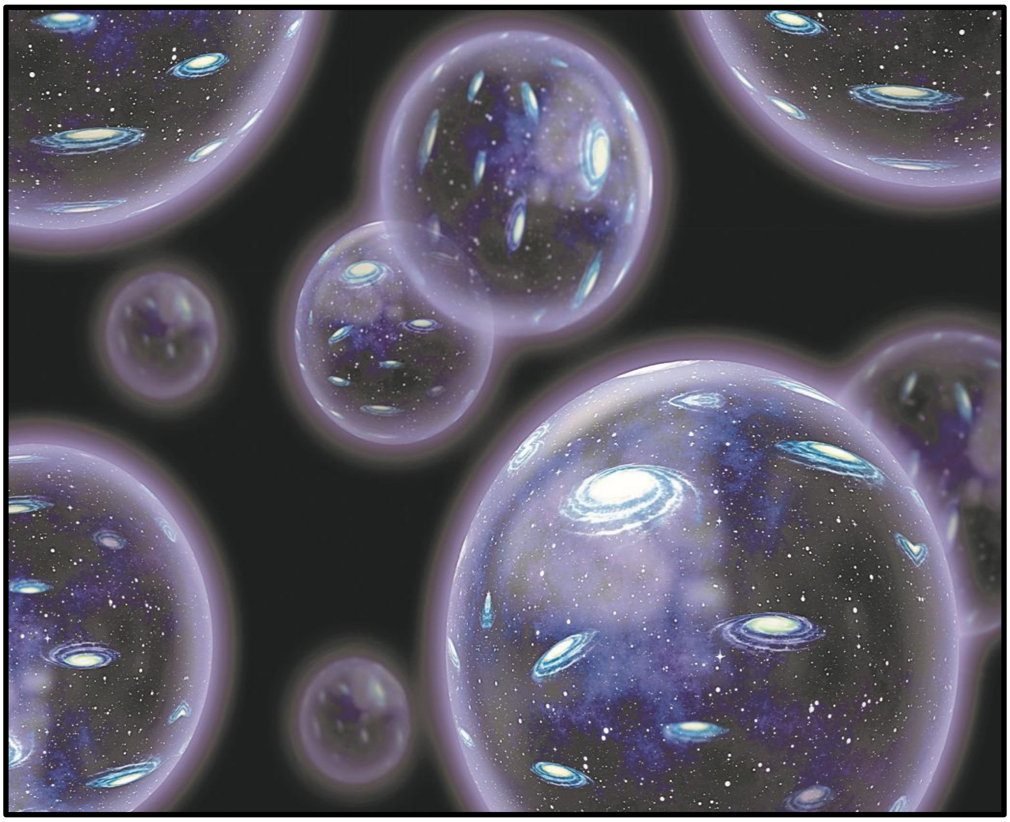
Με βάση την εμπειρία μας, δεν μπορούμε να κατανοήσουμε το φαινόμενο της Μεγάλης Έκρηξης και για το λόγο αυτό είναι απαραίτητες μερικές διευκρινήσεις:

- Δεν πρέπει να θεωρούμε ότι η Μεγάλη Έκρηξη έγινε σε κάποιο σημείο του χώρου και από τότε το Σύμπαν διαστέλλεται μέσα σ'αυτόν. Αντίθετα, η έκρηξη συνέβη σε ολόκληρο το χώρο ταυτόχρονα τη στιγμή της δημιουργίας του. Η ύλη και η ακτινοβολία δημιουργήθηκαν ομοιόμορφα την ίδια στιγμή σε κάθε σημείο του χώρου και μαζί με αυτόν.
- Ο χρόνος δημιουργήθηκε μαζί με το χώρο, την ύλη και την ακτινοβολία ακριβώς τη στιγμή της Μεγάλης Έκρηξης. Δεν έχει νόημα η ερώτηση «τι υπήρχε πριν τη Μεγάλη Έκρηξη;»

Ωστόσο υπάρχουν διάφορες θεωρίες που προσεγγίζουν υποθετικά το ερώτημα αυτό:

Σύμφωνα με μια από αυτές, το Σύμπαν κάνει κύκλους (παλλόμενο Σύμπαν) μέσα από μια σειρά συστολών και Μεγάλων Εκρήξεων.

Σύμφωνα με μια άλλη, υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός από παράλληλα σύμπαντα που αναδύθηκαν χωρίς να έρθουν ποτέ σε επαφή, αλλά το καθένα μπορεί να είναι διαφορετικό από τα άλλα: Το κενό, μια περιοχή όπου αφθονούσαν τα εικονικά σωματίδια (σωματίδια με πολύ μικρό χρόνο ζωής, που δεν μπορούν να παρατηρηθούν, αλλά υπάρχουν ως ενδιάμεσα σε μια διαδικασία), παίρνει ενέργεια από το «τίποτα» και δημιουργεί τη φυσαλίδα, την αρχή της γένεσης του Σύμπαντος. Διαφορετικές φυσαλίδες αναπτύσσουν διαφορετικά σύμπαντα που δεν επικοινωνούν μεταξύ τους.



- Δε γνωρίζουμε γιατί και πως έγινε η Μεγάλη Έκρηξη. Επίσης από τη στιγμή της δημιουργίας (t=0) μέχρι το 10^{-43} του δευτερολέπτου (χρόνος Planck), οι έννοιες και οι νόμοι της σύγχρονης Φυσικής αποδεικνύονται ανεπαρκείς και μη εφαρμόσιμοι.

Χρόνος Planck:

Το χρονικό αυτό διάστημα (10^{-43} δευτερόλεπτα) προκύπτει απ' την αρχή της αβεβαιότητας της Κβαντικής Μηχανικής και ονομάζεται χρόνος του Planck.

Ο χρόνος αυτός προέκυψε όταν το 1900, ο Max Planck κατάλαβε ότι οι μονάδες μήκους, μάζας και χρόνου μπορούσαν να επιλεχθούν με τρόπο τέτοιο, ώστε να καθιστούν τις τρεις βασικές σταθερές - c, G και h - ίσες με τη μονάδα. Οι τρείς βασικές σταθερές είναι από τα θεμελιωδέστερα μεγέθη στη Φυσική, καθώς υπεισέρχονται στους βαθύτερους και καθολικότερους νόμους της, οπότε έχει νόημα να χρησιμοποιούμε μονάδες τέτοιες, ώστε η τιμή τους να ισούται με ένα. Οι νόμοι αυτοί είναι:

- Η μέγιστη ταχύτητα **οποιουδήποτε** αντικειμένου στο σύμπαν είναι η ταχύτητα του φωτός, c. Αυτό το όριο ταχύτητας δεν αποτελεί απλώς ένα νόμο για το φως, αλλά ένα νόμο για τα **πάντα** στη φύση.
- **Όλα** τα αντικείμενα στο Σύμπαν έλκονται αμοιβαίως με δύναμη ανάλογη τόσο του γινομένου μαζών τους όσο και της βαρυτικής σταθεράς, G. **Όλα** τα αντικείμενα σημαίνει **όλα** τα αντικείμενα, χωρίς εξαιρέσεις.
- Για **οποιοδήποτε** αντικείμενο στο Σύμπαν, το γινόμενο της μάζας και των αβεβαιοτήτων στη θέση και στην ταχύτητά του δεν είναι ποτέ μικρότερο από τη σταθερά του Planck, h.

Η μονάδα χρόνου την οποία χρειαζόταν ο Planck, ώστε τα c, G και h να ισούνται με την μονάδα, ήταν αφάνταστα μικρή, ίση με 10^{-43} δευτερόλεπτα, ο χρόνος στον οποίο το φως διανύει ένα μήκος Planck (σε μέτρα, περίπου 10^{-35}). Ο Planck συνειδητοποίησε ότι τέτοιες φανταστικά μικροσκοπικές διαστάσεις πρέπει να διαδραματίζουν βασικό ρόλο σε κάθε έσχατη θεωρία για το φυσικό κόσμο. Δεν γνώριζε ποιος ήταν αυτός ο ρόλος, αλλά ίσως μάντεψε ότι οι ελαχιστότατοι δομικοί λίθοι της ύλης θα είχαν «μέγεθος Planck».

<u>Σημείωση</u>: Οι μονάδες αυτές - το μήκος, ο χρόνος και η μάζα Planck - έχουν ένα εξαιρετικό νόημα: ισούνται με το μέγεθος, το χρόνο ημιζωής και τη μάζα της μικρότερης δυνατής μαύρης τρύπας.

<u>Βασικές Μονάδες Πλανκ</u>

Μήκος Πλανκ: $l_p = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^3}} = 1{,}616 \times 10^{-35}$ m

Χρόνος Πλανκ: $t_p = \frac{l_p}{c} = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^5}} = 5{,}39 \times 10^{-44}$ s

Μάζα Πλανκ: $m_p = \sqrt{\frac{\hbar c}{G}} = 2{,}176 \times 10^{-8}$ kg

Η Μεγάλη Έκρηξη
Δόκτωρ Τζάνα Λεβίν

Μετάφραση, υποτιτλισμός
Χρήστος Σωτηρόπουλος

Σύλλογος Φίλων Αστρονομίας Κρήτης

2009

Φιλμάκι : Big Bang Briefly (η δημιουργία του Σύμπαντος)

http://www.youtube.com/watch?v=EIBdDOxPqq4&feature=player_detailpage

The Big Bang Briefly - .mpeg

2.4.1 Θεωρία για την Προέλευση του Σύμπαντος

Ένα από τα ερωτήματα που απασχολούν τους Κοσμολόγους για την Αρχή της Δημιουργίας είναι αν η Μεγάλη Έκρηξη κατείχε ενέργεια ή το Σύμπαν δημιουργήθηκε από το «τίποτα» (είναι δηλαδή ολόκληρο το σύμπαν σε κατάσταση μηδενικής ενέργειας, με την ενέργεια όλης της μάζας να αντισταθμίζεται από την αρνητική ενέργεια της βαρύτητας;)

Το πιο πάνω ζήτημα μπορεί να διευθετηθεί με έναν απλό υπολογισμό. Οι αστρονόμοι μπορούν να μετρήσουν τις εξής ποσότητες:

1. τις μάζες των γαλαξιών
2. τη μέση απόσταση που τους χωρίζει και
3. τις ταχύτητες με τις οποίες απομακρύνονται.

Αν βάλουμε αυτούς τους αριθμούς σε ένα τύπο, τότε παράγεται μια ποσότητα που μερικοί φυσικοί έχουν ερμηνεύσει ως συνολική ενέργεια του Σύμπαντος.

Το αποτέλεσμα που προκύπτει από τον υπολογισμό της ενέργειας αυτής είναι μηδέν, που εξαρτάται βεβαίως και από την ακρίβεια της παρατήρησης. Η αιτία για αυτό το εντυπωσιακό αποτέλεσμα ήταν από καιρό ένας γρίφος για τους Κοσμολόγους. Κάποιοι έχουν προτείνει ότι υπάρχει μια υποβόσκουσα Κοσμική Αρχή σε ισχύ, που απαιτεί το Σύμπαν να έχει ακριβώς μηδενική ενέργεια.

Εάν αυτό το τελευταίο είναι γεγονός, τότε το Σύμπαν μπορεί να αναδυθεί χωρίς να απαιτείται καθόλου κάποια εισαγωγή ύλης ή ενέργειας[8]. Αυτό το συμπέρασμα είναι απίστευτα σημαντικό από φιλοσοφικής άποψης γιατί εξοβελίζει και την απαίτηση για την ύπαρξη ενός όντος που πρόσφερε την Συμπαντική Ενέργεια, δηλαδή του Θεού.

<u>Σημείωση</u>: Η βαρύτητα είναι μια εκδήλωση της καμπύλωσης της γεωμετρίας του χωρόχρονου. Η καμπύλωση του χωροχρόνου προκαλείται από την περιεχόμενη στον χωρόχρονο μάζα και ενέργεια.

---

8. Βλέπε άρθρο «*Διακυμάνσεις του Κενού και η Προέλευση του Σύμπαντος*». Physics4u, Σεπτέμβριος 2006, http://www.physics4u.gr/articles/2006/vacuum_fluctuations_universe.html

Η ιδέα ότι το Σύμπαν θα μπορούσε να έχει εμφανισθεί από το «τίποτα», από μια γιγαντιαία διακύμανση του κενού (την οποία ξέρουμε σήμερα ως Μεγάλη Έκρηξη), πράγμα που επιτρέπεται από τους νόμους της σύγχρονης φυσικής, αναπτύχθηκε το 1970 από τον Edward Tryon[9].

Σύμφωνα με την κβαντική θεωρία, γνωρίζουμε ότι το κενό δεν είναι πραγματικά άδειο, αλλά υπόκειται σε διακυμάνσεις ενέργειας που μπορούν να γεννήσουν υλικά σωματίδια ή φυσαλίδες ενέργειας[10].

Η κβαντική απροσδιοριστία[11] επιτρέπει αυτή την προσωρινή εμφάνιση υλικών σωματιδίων ή φυσαλίδων ενέργειας από το τίποτα, αρκεί αυτές να εξαφανίζονται μέσα σε σύντομο χρονικό διάστημα[12] .

Στην πλειοψηφία τους, αυτές οι διακυμάνσεις ενέργειας είναι πάρα πολύ μικρές, όμως στην πορεία του χρόνου θα μπορούσε να είχε συμβεί μια αρκετά μεγάλη, από την οποία προέκυψαν τα πάντα.

Φυσικά, αν μια φυσαλίδα περιείχε όλη την υλο-ενέργεια του Σύμπαντος και εμφανιζόταν από το τίποτα, το ισχυρό βαρυτικό του πεδίο θα το έκανε αμέσως να καταρρεύσει προς μια σημειακή ανωμαλία. Ένας άλλος παράγοντας όμως, η πολύ γρήγορη διαστολή του Σύμπαντος κατά τη διάρκεια του πληθωρισμού[13], έχει αποτρέψει αυτή την εξέλιξη, πριν προλάβει η βαρυτική δράση να φέρει την κατάρρευση.

---

9. Για περισσότερα στοιχεία βλέπε άρθρο «*Οι κοσμολογικές θεωρίες του Tryon και Vilenkin για την ανάδυση του σύμπαντος από το Τίποτα*». Δικτυακή πύλη Φυσικής στην Ελλάδα physics4u, 10/06/2017,

http://physics4u.gr/blog/2017/06/10/%CE%BF%CE%B9-

10. Στη γενική σχετικότητα, ο χωρόχρονος μπορεί να είναι άδειος από ύλη ή ακτινοβολία, αλλά να περιέχει ενέργεια που αποθηκεύεται στην κυρτότητα του. Χωρίς καμιά αιτία, τυχαίες κβαντικές διακυμάνσεις σε ένα επίπεδο, κενό, συνηθισμένο χωρόχρονο μπορεί να παραγάγουν τοπικές περιοχές με θετική ή αρνητική κυρτότητα. Το γεγονός ονομάζεται «χωροχρονικός αφρός» και οι περιοχές αυτές λέγονται «φυσαλίδες του ψευδοκενού». Οπουδήποτε η κυρτότητα είναι θετική, μια φυσαλίδα του ψευδοκενού, σύμφωνα με τις εξισώσεις του Αϊνστάιν, θα διογκωθεί εκθετικά. Σε 10^{-42} δευτερόλεπτα η φυσαλίδα θα επεκταθεί στο μέγεθος ενός πρωτονίου και η ενέργεια μέσα σε αυτήν θα είναι επαρκής για να παραγάγει την μάζα όλου του σύμπαντος. Οι φυσαλίδες αρχίζουν χωρίς ύλη, ακτινοβολία, ή πεδία δυνάμεων και μέγιστη εντροπία. Περιέχουν ενέργεια λόγω της κυρτότητας τους, και είναι έτσι ένα «ψευδοκενό». Καθώς διαστέλλονται, η ενέργεια μέσα τους αυξάνεται εκθετικά. Αυτό δεν παραβιάζει την διατήρηση της ενέργειας δεδομένου ότι το ψευδοκενό έχει μια αρνητική πίεση, και έτσι η διαστελλόμενη φυσαλίδα λειτουργεί από μόνη της. Όλα αυτά προκύπτουν φυσικά από τις εξισώσεις που ο Αϊνστάιν έγραψε το 1916 (βλέπε άρθρο «*4η θεωρία για την προέλευση και την εξέλιξη του Σύμπαντος - Το σύμπαν φτιάχτηκε εκ του μηδενός*». Physics4u, Μάρτιος 2007, http://www.physics4u.gr/articles/2007/theories_universe4.html).

11. Βλέπε σελ. 155 - 156

12. Το αξίωμα αυτό εξηγείται στο κείμενο που ακολουθεί: Στον καθημερινό κόσμο, η ενέργεια είναι πάντα σταθερή. Ο νόμος της διατήρησης της ενέργειας είναι ο ακρογωνιαίος λίθος της Κλασσικής Φυσικής. Αλλά στον κβαντικό μικρόκοσμο, η ενέργεια μπορεί να εμφανιστεί και να εξαφανιστεί από το πουθενά με έναν αυθόρμητο και απρόβλεπτο τρόπο. Η Αρχή της Αβεβαιότητας υπονοεί ότι μπορούν να γεννηθούν σωματίδια για μικρά χρονικά διαστήματα ακόμα και όταν δεν υπάρχει αρκετή ενέργεια για να τα δημιουργήσει. Στην πραγματικότητα, δημιουργούνται από τις αβεβαιότητες στην ενέργεια (Αρχή της Αβεβαιότητας του Heisenberg). Η αδυναμία να προσδιορίσουμε με ακρίβεια το ενεργειακό απόθεμα μιας οποιασδήποτε μικρής περιοχής χώρου και χρόνου έχει ως συνέπεια να εμφανίζονται σε μικροσκοπική κλίμακα τα εικονικά σωματίδια. Όσο μάλιστα συντομότερο είναι αυτό το διάστημα, τόσο μεγαλύτερη είναι η αβεβαιότητα της ενέργειας. Έτσι, κάποιος θα μπορούσε να πει ότι «δανείζονται» για λίγο την ενέργεια που απαιτείται για τη δημιουργία τους, και έπειτα, λίγο αργότερα, πληρώνουν το «χρέος» τους πίσω και εξαφανίζονται πάλι. Επειδή αυτά τα σωματίδια δεν έχουν μόνιμη ζωή, λέγονται εικονικά σωματίδια.
Ακόμα και αν δεν μπορούμε να τα δούμε, ξέρουμε ότι αυτά τα εικονικά σωματίδια είναι «πραγματικά εκεί» στο κενό διάστημα, επειδή αφήνουν πίσω τους ένα ανιχνεύσιμο ίχνος της δραστηριότητάς τους. Αυτή έχει επιβεβαιωθεί από τα πειράματα, έτσι καμία αμφιβολία δεν μένει ότι τα εικονικά σωματίδια είναι πραγματικά εκεί μέσα στο κενό (βλέπε άρθρο «*Διακυμάνσεις του Κενού και η Προέλευση του Σύμπαντος*». Physics4u, Σεπτέμβριος 2006, http://www.physics4u.gr/articles/2006/vacuum_fluctuations_universe.html).

13. Βλέπε σελ. 52 – 54

(α) Κβαντικό Κενό

Το Κβαντικό Κενό έχει μια πολύ σύνθετη δομή. Έχει σχεδόν, όλες τις ιδιότητες που μπορεί να έχει ένα σωματίδιο, δηλ. ιδιοστροφορμή (spin), ή πόλωση στην περίπτωση του φωτός, ενέργεια και λοιπά. Κατά μέσον όρο, όλες αυτές οι ιδιότητες εξουδετερώνονται. Το κενό είναι τελικά, "άδειο" από αυτή την άποψη. Μια σημαντική εξαίρεση είναι η ενέργεια του κενού. Στην Κβαντική Πεδιακή Θεωρία, το κενό ορίζεται ως η κατάσταση εκείνη (δηλαδή η λύση των εξισώσεων της θεωρίας) που κατέχει την ελάχιστη δυνατή ενέργεια (αλλιώς, τη χαμηλότερη ενεργειακή στάθμη). Σε πρώτη προσέγγιση, αυτό σημαίνει απλώς μια κατάσταση χωρίς σωματίδια, εξού και το όνομα.

Σύμφωνα όμως με τη θεωρία αυτή, δεν υπάρχει αληθινή κατάσταση «κενού». Το κενό είναι στην πράξη γεμάτο με ένα θολό ζωμό από εικονικά σωματίδια που εμφανίζονται και εξαφανίζονται ξαφνικά. Υπό αυτή την έννοια εσείς, εγώ, το φεγγάρι και οτιδήποτε άλλο στο σύμπαν μας είναι ακριβώς διεγέρσεις του κβαντικού κενού.

Ακόμη και το ιδεατό κενό, νοούμενο ως πλήρης απουσία οποιουδήποτε πράγματος, στην πράξη δεν θα παραμείνει άδειο. Ως παράδειγμα, ας θεωρήσουμε έναν θάλαμο που έχει εκκενωθεί εντελώς, ώστε η συγκέντρωση (κλασσικών) υλικών σωματιδίων να είναι μηδενική. Τα τοιχώματα του θαλάμου θα εκπέμψουν Ηλεκτρομαγνητική Ακτινοβολία υπό την μορφή Ακτινοβολίας Μέλανος Σώματος. Η ακτινοβολία αυτή χαρακτηρίζεται από ορμή και ενέργεια, οπότε το κενό αυτό έχει ενεργειακό περιεχόμενο και τα τοιχώματα δέχονται πίεση ακτινοβολίας. Το ίδιο αληθεύει ακόμη και για το κενό του Διαστρικού Χώρου. Ακόμη και αν η μια περιοχή του Χώρου δεν περιέχει σωματίδια, η Κοσμική Ακτινοβολία Υποβάθρου, διαπερνά ολόκληρο το Σύμπαν.

Υπό την κλασσική έννοια του εντελώς "άδειου" χώρου, το κενό δεν μπορεί να υπάρξει ούτε στο εσωτερικό της ύλης[14].

Η ενέργεια του κενού μπορεί επίσης να μελετηθεί από την άποψη των εικονικών σωματιδίων, (που επίσης είναι γνωστά ως διακυμάνσεις του κενού) τα οποία δημιουργούνται και καταστρέφονται στο κενό. Αυτά τα σωματίδια δημιουργούνται πάντα από το κενό ανά ζεύγη σωματίων-αντισωματίων, τα οποία εξαϋλώνονται σύντομα και εξαφανίζονται. Εν τούτοις, αυτά τα ζεύγη των εικονικών σωματιδίων μπορούν να αλληλεπιδράσουν με άλλα πριν εξαφανιστούν.

Η απλή εικόνα του κβαντικού κενού στο οποίο υπάρχουν τα "εν δυνάμει" ή εικονικά σωματίδια τροποποιείται αν λάβουμε υπόψη ότι, όπως τα υποατομικά σωματίδια υπόκεινται σε διάφορες επιδράσεις που το είδος τους εξαρτάται από τον τύπο του σωματιδίου, έτσι και μεταξύ των αντίστοιχων εικονικών σωματιδίων δρουν οι ίδιες δυνάμεις. Συνεπώς, είναι δυνατόν να υπάρχουν περισσότερα από ένα είδη κατάστασης κενού. Η ύπαρξη πολλών δυνατών «κβαντικών καταστάσεων» είναι γνωστό χαρακτηριστικό της Κβαντικής Φυσικής, όπως υπάρχουν διάφορες ενεργειακές στάθμες των ατόμων.

Το κενό λοιπόν μπορεί να έχει μία ή περισσότερες διεγερμένες καταστάσεις, καθώς ισχύουν και για αυτό, παρόμοιες αρχές με αυτές που ισχύουν για το ηλεκτρονιακό νέφος. Αυτές οι καταστάσεις του κενού θα έχουν πολύ διαφορετικές ενέργειες, αν και θα φαίνονταν απολύτως όμοιες[15].

---

14. Βλέπε σελ. 155 - 156
15. Βλέπε σελ. 53, παραπομπή 28

Εάν η ιδέα ότι το Σύμπαν απλά εμφανίστηκε από το τίποτα είναι αρκετά δύσκολη, η προσπάθεια να συλλάβουμε το τίποτα είναι ακόμα πιο δύσκολη. Ίσως το τίποτα από μόνο του δεν μπορεί να υπάρξει.

Ας δούμε λοιπόν το ζήτημα αυτό και από μια άλλη οπτική γωνία, χρησιμοποιώντας και πάλι τους νόμους της επιστήμης: Ο δεύτερος νόμος της Θερμοδυναμικής, που είναι από τους πλέον βασικούς φυσικούς νόμους, λέει ότι η αταξία, με λίγα λόγια η εντροπία τείνει πάντα να αυξηθεί[16]. Η εντροπία μετρά τον αριθμό των τρόπων που μπορούμε να επαναδιευθετήσουμε τα συστατικά ενός συστήματος χωρίς να αλλάξει συνολικά η εμφάνιση του. Τα μόρια σε ένα θερμό αέριο, για παράδειγμα, μπορούν να οργανωθούν με πολλούς διαφορετικούς τρόπους για να δημιουργήσουν την ίδια συνολική θερμοκρασία και πίεση, κάνοντας το αέριο ένα σύστημα με υψηλή εντροπία. Αντίθετα, δεν μπορούμε να αλλάξουμε πάρα πολύ την διάταξη των μορίων σε ένα ζωντανό οργανισμό, χωρίς να το μετατρέψουμε σε ένα μη ζωντανό αντικείμενο, για αυτό και είμαστε ένα σύστημα με χαμηλή εντροπία. Με την ίδια λογική, η ανυπαρξία ή το τίποτα είναι η κατάσταση με την υψηλότερη εντροπία γύρω μας. Μπορείτε να την «ανακατέψετε» όσο θέλετε και να φαίνεται ακόμα σαν το κενό. Λόγω αυτού λοιπόν του νόμου, είναι δύσκολο να δούμε πως το τίποτα θα μπορούσε ποτέ να μετατραπεί σε κάτι πραγματικό, πόσο μάλλον σε κάτι τόσο μεγάλο όσο το σύμπαν[17]. Εξάλλου η δημιουργία κάποιου πράγματος από το τίποτα θα παραβίαζε όλα τα είδη των φυσικών νόμων, όπως η διατήρηση της ενέργειας[18]. Η κβαντική αβεβαιότητα, όμως, η οποία επιτρέπει ένα συμβιβασμό μεταξύ του χρόνου και της ενέργειας[19] μπορεί να εξηγήσει πώς το σύμπαν μας έχει διαρκέσει επί δισεκατομμύρια χρόνια - στη διάρκεια των οποίων σχηματίστηκαν γαλαξίες, ηλιακά συστήματα, και έγινε η εξέλιξη της Ζωής - αν η συνολική ενέργεια του σύμπαντος είναι εξαιρετικά χαμηλή.

16. Βλέπε σελ. 99.

17. Βλέπε άρθρο «*Γιατί υπάρχει το σύμπαν;*» Physics4u's Weblog, 15/08/2011, https://physics4u.wordpress.com/2011/08/15/%CE%AF-%CE%AC-%CF%8D-2/

18. Πρώτο Θερμοδυναμικό αξίωμα: Αποτελεί μια έκφραση της αρχής διατήρησης της ενέργειας, δηλαδή του γεγονότος ότι σε ένα απομονωμένο σύστημα η ενέργεια ούτε καταστρέφεται ούτε δημιουργείται από το μηδέν, αλλά μετατρέπεται από τη μια μορφή στην άλλη. Σύμφωνα με τον νόμο αυτό, το ποσό θερμότητας (Q) που απορροφά ή αποβάλλει ένα θερμοδυναμικό σύστημα είναι ίσο με το αλγεβρικό άθροισμα της μεταβολής της εσωτερικής ενέργειας και του έργου που παράγει ή δαπανά το σύστημα. Μαθηματική διατύπωση: $Q = \Delta U + W$

ΔU: μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας του συστήματος που μελετούμε.

W: έργο που παράγεται από το σύστημα (που μπορεί να είναι μηχανικό, ηλεκτρικό, μαγνητικό, κτλ.).

Q: το ποσό θερμότητας που απορροφά το σύστημα από το περιβάλλον του.

19. Βλέπε σελ. 155

Αυτό ταιριάζει με τη γενικά αποδεκτή άποψη για τις πρώτες στιγμές του σύμπαντος. Όπως θα δούμε παρακάτω, στις πρώτες στιγμές του σύμπαντος, ο χωροχρόνος υποβάλλεται σε μια σύντομη και υπερταχύτατη διαστολή, γνωστή ως περίοδος του πληθωρισμού, η οποία πλημμύρισε το σύμπαν με ενέργεια. Αλλά σύμφωνα με τη θεωρία της γενικής σχετικότητας, περισσότερος χωροχρόνος σημαίνει επίσης και περισσότερη βαρύτητα. Η έλξη της βαρύτητας όμως αντιπροσωπεύει την αρνητική ενέργεια[20] που μπορεί να ακυρώσει τη θετική ενέργεια του πληθωρισμού που υποβάλλεται ο χωροχρόνος αμέσως μετά τη Μεγάλη Έκρηξη. Στην ουσία, αν ισχύει αυτό, κατασκευάστηκε ένα σύμπαν από το τίποτα! Έτσι, αν διατηρείται μηδενική η συνολική ενέργεια του σύμπαντος, το πρόβλημα της διατήρησης της ενέργειας εξαφανίζεται και ένα σύμπαν που απλά ξεπήδησε από το τίποτα γίνεται όχι μόνο εύλογο, αλλά πιθανό. Η δυνατότητα αυτή προκύπτει επειδή η ενέργεια μπορεί να είναι και θετική και αρνητική[21] (η κινητική ενέργεια ή η ενέργεια της μάζας είναι πάντα θετική, αλλά η ενέργεια της έλξης, από τη βαρύτητα ή τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία, είναι αρνητική). Δικαιολογημένα ο Alan Guth, Κοσμολόγος στο MIT, λέει ότι «το σύμπαν είναι το απόλυτο δωρεάν γεύμα».

Η υπόθεση αυτή ωστόσο δεν αλλάζει την πραγματικότητα. Η κατανόησή μας για την δημιουργία στηρίζεται στην ισχύ των νόμων της Φυσικής, ιδιαίτερα της κβαντικής αβεβαιότητας. Αλλά αυτό σημαίνει ότι οι νόμοι της Φυσικής ήταν κατά κάποιο τρόπο κωδικοποιημένοι μέσα στον ιστό του σύμπαντος προτού αυτό υπάρξει[22]. Πώς μπορούν οι φυσικοί νόμοι να υπάρχουν έξω από το χώρο και το χρόνο και δίχως να υπάρχει μια αιτία για την ύπαρξή τους; Αφού λοιπόν υπήρχε κάτι περισσότερο από το τίποτα εκεί έξω θα μπορούσε κανείς να υποθέσει την ύπαρξη μιας Ανώτερης Δύναμης - Δημιουργού!

---

20. Το βαρυτικό πεδίο, από μία άποψη, έχει αρνητική ενέργεια, γεγονός που βλέπουμε να προκύπτει από το ότι: Δύο κομμάτια ύλης που είναι το ένα κοντά στο άλλο έχουν λιγότερη ενέργεια από τα ίδια κομμάτια που είναι μακριά το ένα από το άλλο, αφού πρέπει να δαπανήσουμε ενέργεια για να τα χωρίσουμε, εξαιτίας της ελκτικής δύναμης της βαρύτητας (βλέπε άρθρο «*4η θεωρία για την προέλευση και την εξέλιξη του Σύμπαντος - Το σύμπαν φτιάχτηκε εκ του μηδενός».* Physics4u, Μάρτιος 2007, http://www.physics4u.gr/articles/2007/theories_universe4.html).

21. Η δυνατότητα αυτή της ενέργειας εξηγείται στο ακόλουθο άρθρο «*Διακυμάνσεις του Κενού και η Προέλευση του Σύμπαντος*». Physics4u, Σεπτέμβριος 2006, http://www.physics4u.gr/articles/2006/vacuum_fluctuations_universe.html

22. Βλέπε άρθρο «*Γιατί υπάρχει το σύμπαν*;» Physics4u, 09/09/2015, http://physics4u.gr/blog/2015/09/09/%CE%B3%CE%B9%CE%B1%CF%84%CE%AF-

Εν πάση περιπτώσει, όσον αφορά για το πιά θεωρία ισχύει, τι υπήρχε πριν από τη Μεγάλη Έκρηξη (είτε αυτή του παλλόμενου σύμπαντος, είτε αυτή των παράλληλων συμπάντων) βάσει του φιλοσοφικού οντολογικού ερωτήματος για την Αρχή των Πάντων, θα πρέπει λογικά να υπήρχε μια Αρχή, όσο πιο πίσω πάμε. Για παράδειγμα, ποιο ήταν το πρώτο σύμπαν από το οποίο προήλθαν όλα τα υπόλοιπα παράλληλα σύμπαντα.

2.4.2 Θεωρία για την προέλευση της ύλης και της ακτινοβολίας

Πρόσφατες θεωρητικές έρευνες φυσικών, όπως ο Steven Weinberg του Χάρβαρντ και Ya. B. Zel'dovich στη Μόσχα, προτείνουν ότι το σύμπαν ξεκίνησε ως τέλειο κενό και ότι όλα τα σωματίδια του υλικού κόσμου δημιουργήθηκαν από την διαστολή του χώρου. Κατά αυτόν τον τρόπο ξέρουμε τώρα από πού προήλθε η ύλη και η ακτινοβολία στον κόσμο.

Σκεφτείτε τον Κόσμο αμέσως μετά από το Big Bang. Ο χώρος επεκτείνεται βίαια με εκρηκτική ορμή[23]. Ακόμα, όπως έχουμε δει, όλος ο χώρος συνταράσσεται με τις εμφανίσεις εικονικών ζευγών σωματίων και αντισωματίων. Κανονικά, ένα σωμάτιο και ένα αντισωμάτιο δεν έχουν κανένα πρόβλημα να ενωθούν μετά από ένα μικρό χρονικό διάστημα, έτσι ώστε να ικανοποιείται η διατήρηση της μάζας κάτω από την αρχή της αβεβαιότητας. Κατά τη διάρκεια της Μεγάλης Έκρηξης, εντούτοις, ο χώρος επεκτεινόταν τόσο γρήγορα που τα σωμάτια απομακρύνθηκαν πολύ γρήγορα από τα αντίστοιχα αντισωμάτιά τους. Δηλαδή αυτά τα εικονικά σωμάτια στις πρώτες στιγμές του Κόσμου στερήθηκαν της ευκαιρίας να επανασυνδεθούν με τα αντισωμάτιά τους, και έγιναν πραγματικά σωμάτια στον πραγματικό Κόσμο.

Αλλά από πού προήλθε η ενέργεια για να επιτευχθεί αυτό το γεγονός;

Να υπενθυμίσουμε ότι το Big Bang ήταν όμοιο με το κέντρο μιας μαύρης τρύπας. Ενώ η τροφοδοσία σε βαρυτική ενέργεια ήταν συνυφασμένη με την έντονη βαρύτητα αυτής της κοσμικής ιδιομορφίας. Αυτή η πηγή παρείχε άφθονη ενέργεια για να γεμίσει εντελώς τον κόσμο με όλα τα κατανοητά είδη σωματίων και αντισωματίων. Κατά συνέπεια, αμέσως μετά από την εποχή Planck, ο Κόσμος πλημμύρισε με σωμάτια και αντισωμάτια που δημιουργήθηκαν από τη βίαιη διαστολή του χώρου.

23. Βλέπε σελ. 52 - 54

2.4.3 Το πληθωριστικό μοντέλο του σύμπαντος

Στα πρώτα στάδια της ύπαρξής του το Σύμπαν πέρασε μια σύντομη περίοδο εξαιρετικά γρήγορης (εκθετικής) διαστολής, η οποία μέσα σε ένα μικρό κλάσμα δευτερολέπτου, μεγάλωσε τις αιτιατές περιοχές (με διαστάσεις υποατομικών σωματιδίων) στο μέγεθος μπάλας ποδοσφαίρου (εμείς ζούμε και αντιλαμβανόμαστε μια από αυτές τις περιοχές). Πιθανολογείται ότι υπάρχουν 10 ^150 τέτοιες περιοχές - δηλαδή σύμπαντα σαν το δικό μας. Ο χωροχρόνος επεκτάθηκε με ταχύτητα μεγαλύτερη από αυτή της ταχύτητας του φωτός[24]. Η διαστολή αυτή ξεκίνησε όταν το Σύμπαν ήταν ηλικίας μόλις 10^{-35} sec και θερμοκρασίας 10^{27} K.

Σε τόσο υψηλή θερμοκρασία οι ισχυρές αλληλεπιδράσεις είναι ενοποιημένες με τις ηλεκτρασθενείς[25]. Όταν σπάει η συμμετρία αυτή[26] έχουμε αλλαγή φάσης[27]. Λόγω της αλλαγής φάσης έχουμε έκκληση τεράστιας ποσότητας ενέργειας, που τροφοδοτεί την ταχύτατη διαστολή.

Αιτία της ταχύτατης διαστολής πιστεύεται ότι είναι η βαρυτική απωστική δύναμη του ψευδούς κενού[28], που οφείλεται στην τεράστια πίεσή του, που είναι αρνητική (επομένως, στις πρώτες στιγμές του Σύμπαντος κυριαρχεί η διαστολή, που οφείλεται στην διαφορά ενέργειας μεταξύ κενού και ψευδοκενού).

Συνήθως δεν θεωρούμε την πίεση ως πηγή βαρύτητας, αλλά στην πραγματικότητα είναι. Αν και η πίεση ασκεί απωστική εφαπτική επίδραση, προκαλεί και βαρυτική έλξη. Στην περίπτωση των συνηθισμένων σωμάτων η βαρυτική επίδραση της πίεσης είναι αμελητέα, συγκρινόμενη με την επίδραση της μάζας του σώματος. Παρόλα αυτά, η επίδραση της πίεσης είναι πραγματική, και σ΄ ένα σύστημα στο οποίο βρίσκεται σε ακραίες τιμές, η βαρυτική επίδρασή της μπορεί να συναγωνιστεί την αντίστοιχη της μάζας.

Στην περίπτωση του ψευδοκενού υπάρχει κολοσσιαία ενέργεια και συγκρίσιμα κολοσσιαία πίεση, οι οποίες ανταγωνίζονται για την βαρυτική επικράτηση. Η κρίσιμη ιδιότητα, ωστόσο, είναι το ότι η πίεση είναι αρνητική και επομένως το ψευδοκενό δεν ωθεί, αλλά αναρροφά. Μια αρνητική πίεση παράγει αρνητική βαρυτική δράση, με άλλα λόγια, αντιβαρύτητα. Τελικά αποδεικνύεται ότι η πίεση του ψευδούς κενού επικρατεί της τεράστιας ενέργειάς του, που έχει ελκτική επίδραση (*όπως έδειξε ο Einstein,* η ενέργεια ισοδυναμεί με ύλη, και συνεπώς ασκεί και αυτή βαρυτική έλξη, όπως ακριβώς και η κανονική ύλη). Το συνολικό αποτέλεσμα είναι η παραγωγή μιας απωστικής δύναμης τόσο μεγάλης που προκάλεσε το διπλασιασμό του μεγέθους του Σύμπαντος κάθε 10^{-34} δευτερόλεπτα στις πρώτες του στιγμές.

24. Δεν πρέπει να μας ξενίζει το γεγονός της ταχείας διαστολής, γιατί δεν αναφερόμαστε σε μετακίνηση σωμάτων, η οποία μπορεί το πολύ να γίνει με την ταχύτητα του φωτός, αλλά σε διαστολή του περιβάλλοντος χώρου (βλέπε σελ. 146 - 147).

25. Βλέπε σελ. 78

26. Βλέπε πρόσθετο «Η Συμμετρία στο Σύμπαν», σελ. 60

27. Φάσης αλλαγή (αλλαγή κατάστασης): Η αλλαγή της ύλης από μια φυσική κατάσταση, στην οποία βρίσκεται (δηλαδή στερεά, υγρή ή αέρια) σε κάποια άλλη. Η αλλαγή συνοδεύεται απαραίτητα από την έκλυση ή την απορρόφηση ενέργειας, ακόμη κι αν λαμβάνει χώρα σε σταθερή θερμοκρασία (βλέπε *Λεξικό της Φυσικής.* Εκδόσεις ΜΑΛΛΙΑΡΗΣ-ΠΑΙΔΕΙΑ Α.Ε./Oxford University Press, Μετάφραση: Κώστας Θεολόγου, Επιστημονική θεώρηση: Δημήτρης Τζεβελέκης, 1993, ISBN: 960 – 239 – 137 – 5, σ. 74).

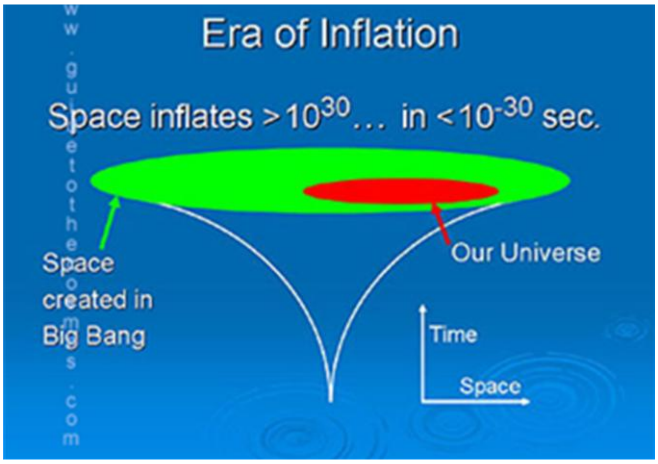
28. Ένα διεγερμένο κενό αναφέρεται ως «ψευδές κενό» ή ψευδοκενό, αντίθετα η κατάσταση του κενού που κατέχει την χαμηλότερη ενέργεια (δηλαδή η θεμελιώδης κατάσταση) ονομάζεται «αληθές κενό», ονομασία που εκφράζει το γεγονός ότι πρόκειται για σταθερή κατάσταση και ενδεχομένως γι΄αυτήν που αντιστοιχεί στις κενές περιοχές του Σύμπαντος, όπως αυτές παρατηρούνται σήμερα.
Πρέπει να τονίσουμε ότι το ψευδοκενό παραμένει μια καθαρά θεωρητική ιδέα και οι ιδιότητές του εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την συγκεκριμένη θεωρία που χρησιμοποιούμε. Ωστόσο, η ύπαρξή του προκύπτει αβίαστα στις πιο πρόσφατες θεωρίες που στοχεύουν στην ενοποίηση των τεσσάρων Θεμελιωδών Αλληλεπιδράσεων της Φύσης (οι διάφορες Μεγάλες Ενοποιημένες Θεωρίες προβλέπουν επίσης τον πλέον ελπιδοφόρο μηχανισμό του πληθωρισμού).
Ένα κρίσιμο χαρακτηριστικό αυτών των θεωριών είναι ότι η ενέργεια των καταστάσεων ψευδούς κενού είναι τεράστια: τυπικά σε $1cm^3$ χώρου θα περιέχονται 10^{87} Joule.
Άρα, για να διεγερθεί το αληθές κενό, χρειάζεται υπερβολικά πολλή ενέργεια και επομένως δεν περιμένουμε να βρούμε κάποιο ψευδοκενό στο Σύμπαν σήμερα.
Από την άλλη πλευρά, με δεδομένες τις ακραίες συνθήκες που ίσχυαν την περίοδο της Μεγάλης Έκρηξης, αυτοί οι αριθμοί είναι εύλογοι.

Το φαινόμενο αυτό, που ονομάστηκε «πληθωρισμός» (βλεπε σχ. 2.4) εξηγεί ορισμένες αντιφάσεις του Μοντέλου της Μεγάλης Έκρηξης όπως:

- Το **πρόβλημα της επιπεδότητας** που παρουσιάζει το σύμπαν, το γεγονός δηλαδή ότι η τιμή της σημερινής πυκνότητάς του είναι πάρα πολύ κοντά στην κρίσιμη[29] (*ω=1)*. Μια σημαντική συνέπεια αυτού του γεγονότος, είναι ότι πρέπει να υπάρχει μια τεράστια ποσότητα σκοτεινής ύλης[30] στο σύμπαν. Μια άλλη συνέπεια είναι ότι το σύμπαν έγινε επίπεδο με τον πληθωρισμό. Λόγω της ταχύτατης διαστολής, εξομαλύνθηκε ο χωρόχρονος και το σύμπαν απόκτησε την επιθυμητή επιπεδότητα.
- Το **πρόβλημα του ορίζοντα,** δηλαδή η εξαιρετική ομοιομορφία του Σύμπαντος σε περιοχές που δεν είχαν ποτέ αιτιατή επικοινωνία. Με τον πληθωρισμό οι περιοχές που ήταν αρχικά κοντά ώστε να ανταλλάσουν πληροφορίες απομακρύνθηκαν πάρα πολύ προς αντίθετες κατευθύνσεις.
- Την **εξαφάνιση Μαγνητικών Μονοπόλων[31]**. Λόγω της ταχύτατης διαστολής τα μονόπολα και άλλα εξωτικά σωματίδια «σαρώνονται» και δεν επιβιώνουν στο μελλοντικό Σύμπαν.
- Την **Ανομοιογένεια σε Μικρή Κλίμακα**. Το Σύμπαν, αν και ήταν σε κατάσταση ομοιογένειας, κατά περίεργο τρόπο, έδωσε τη δυνατότητα να δημιουργηθούν δομές, όπως οι γαλαξίες. Ο πληθωρισμός αφήνει κάποιο περιθώριο για μια μικρή ανομοιογένεια, αν και σαρώνει όλο το σύμπαν εν τούτοις αφήνει μικρές ατέλειες, οι οποίες οδηγούν στη συνέχεια στους γαλαξίες (οι ανισοτροπίες στην Κοσμική Ακτινοβολία Υποβάθρου, προκάλεσαν ένα κρουστικό κύμα πυκνότητας που εξελίχθηκε στους γαλαξίες). Έτσι μπορεί να εξηγηθεί ο σχηματισμός των γαλαξιών από το πληθωριστικό μοντέλο.

Το μοντέλο του Πληθωριστικού Σύμπαντος δίνει απαντήσεις σε κεφαλαιώδη ερωτήματα της Κοσμολογίας, χωρίς να διαταράσσει αισθητά το Μοντέλο της Μεγάλης Έκρηξης.

Σχήμα 2.4: Εποχή Του Πληθωρισμού



29. Βλέπε σελ. 90 - 91

30. Βλέπε σελ. 93 - 95

31. Ένα μαγνητικό μονόπολο στη φυσική σωματιδίων είναι ένα υποθετικό σωματίδιο, που είναι μαγνήτης με μόνο ένα μαγνητικό πόλο (ένα βόρειο πόλο χωρίς νότιο πόλο ή το αντίστροφο). Με πιο τεχνικούς όρους, ένα μαγνητικό μονόπολο θα έχει καθαρή «μαγνητική επιβάρυνση». Το ενδιαφέρον για την ιδέα προέρχεται από τις θεωρίες των σωματιδίων, και ιδίως τις θεωρίες των υπερχορδών, οι οποίες προβλέπουν την ύπαρξή τους. Ο μαγνητισμός των ραβδόμορφων μαγνητών και των ηλεκτρομαγνητών δεν προκύπτει από τα μαγνητικά μονόπολα, και στην πραγματικότητα δεν υπάρχουν πειστικές πειραματικές αποδείξεις ότι τα μαγνητικά μονόπολα υπάρχουν στο Σύμπαν.

2.4.3.1 Πως προέκυψε η θεωρία του πληθωρισμού;

Στη δεκαετία του 1970 οι θεωρητικοί της σωματιδιακής φυσικής άρχισαν να κατασκευάζουν τη Μεγάλη Ενοποιημένη Θεωρία (GUT)[32], η οποία πρότεινε ότι σε θερμοκρασίες ή ενέργειες πάνω από περίπου 10^{15} δισεκατομμύρια ηλεκτρονιοβόλτ (GeV), η ηλεκτρομαγνητική δύναμη, η ισχυρή και η ασθενής πυρηνική δύναμη είναι ταυτόσημες (ενοποιημένες). Στα πρότυπα του Big Bang, το σύμπαν ξεκίνησε αρκετά θερμό, έτσι ώστε οι δυνάμεις να είναι ενοποιημένες. Στη συνέχεια, όταν το σύμπαν είχε ηλικία περίπου 10^{-35} δευτερόλεπτα, η ισχυρή πυρηνική δύναμη διαχωρίστηκε από τις υπόλοιπες δύο, που απετέλεσαν την ηλεκτρασθενή δύναμη. Μια αναπάντεχη συνέπεια αυτής της μετάβασης (του διαχωρισμού), που συνειδητοποίησαν αργότερα οι θεωρητικοί, ήταν ότι αυτή θα έπρεπε να δημιουργήσει ένα πλήθος απομονωμένων βόρειων ή νότιων μαγνητικών πόλων ή μαγνητικών μονόπολων, όπως ονομάστηκαν - ένα φαινόμενο που όμως δεν παρατηρήθηκε ποτέ.

Στα τέλη του 1979, ο Alan Guth, τότε στο SLAC (Stanford Linear Accelerator Center), συνειδητοποίησε ότι μια λύση στο πρόβλημα των μονοπόλων που είχε επεξεργαστεί με ένα συνάδελφο του, θα μπορούσε να επιλύσει και δύο άλλα, φαινομενικά άσχετα, κοσμολογικά προβλήματα που απασχολούσαν την περίοδο εκείνη την επιστημονική κοινότητα, το πρόβλημα της ομοιογένειας και το πρόβλημα της επιπεδότητας του σύμπαντος. Στην λύση του προβλήματος των μονοπόλων εμπλεκόταν ένα στοιχείο των ενοποιημένων θεωριών GUTs, το πολύ γνωστό μας πεδίο Higgs[33], το οποίο υποτίθεται ότι διαποτίζει όλο το χώρο. Καθώς το σύμπαν διαστέλλεται και ψύχεται, η ισχυρή δύναμη διαχωρίζεται από τις υπόλοιπες, μόνο όταν το πεδίο Higgs μεταβάλλεται από τη μία τιμή σε μία άλλη. Για να λυθεί το πρόβλημα των μονοπόλων, ο Alan Guth και ο Henry Tye υπέθεσαν ότι το πεδίο Higgs δεν μεταβάλλεται αμέσως, αλλά για κάποιο χρονικό διάστημα κόλλησε σε μια λανθασμένη τιμή. Η κατάσταση αυτή μοιάζει με μια μπάλα που παγιδεύεται σε ένα βαθούλωμα στην κορυφή ενός λόφου, που την εμποδίζει να κατρακυλήσει κάτω προς την κοιλάδα. Η καθυστερημένη αυτή μετάβαση του Higgs σημαίνει μικρότερη παραγωγή μονοπόλων.

---

32. Βλέπε σελ. 160 - 161

33. Βλέπε σελ. 79

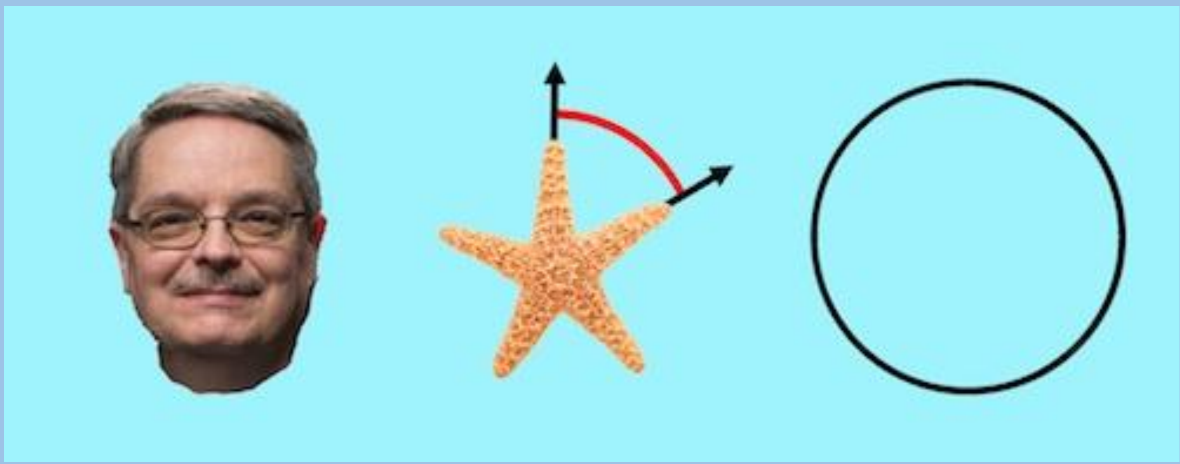
Ο Guth άρχισε να αναρωτιέται τι σημαίνει η καθυστερημένη μετάβαση του Higgs στην κοσμική διαστολή. Όταν το πεδίο Higgs είχε κολλήσει στη λανθασμένη τιμή, κυριάρχησε στην ενέργεια του σύμπαντος, με την περίεργη ιδιότητα να κάνει το Σύμπαν να διαστέλλεται εκθετικά με το χρόνο, σε αντίθεση με τη συνήθη αργή διαστολή ενός σύμπαντος που είναι γεμάτο από τη συνήθη ύλη και ακτινοβολία. Η εκθετική διαστολή ονομάστηκε από τον Guth «**πληθωρισμός**» και λύνει πολύ ικανοποιητικά, εκτός από το πρόβλημα των μονοπόλων, και τα δύο άλλα προαναφερθέντα προβλήματα, το πρόβλημα της ομοιογένειας και το πρόβλημα της επιπεδότητας του σύμπαντος.

2.5 Η Συμμετρία στο Σύμπαν

Η συμμετρία, όπως θα δούμε στη συνέχεια σ΄ αυτό το πρόσθετο, είναι μια τρομερά ισχυρή αρχή της φυσικής. Οι νόμοι της φυσικής, οι οποίοι διέπουν τις παρατηρήσεις μας σχετικά με το τι μπορεί και το τι δεν μπορεί να συμβεί στο σύμπαν, προέρχονται από τις συμμετρίες του σύμπαντος.

Υπό μία έννοια, η συμμετρία είναι η έκφραση ακριβούς αντιστοιχίας μεταξύ πραγμάτων.

Υπάρχει για παράδειγμα γεωμετρική συμμετρία. Το ανθρώπινο πρόσωπο, για παράδειγμα, έχει ένα είδος γεωμετρικής συμμετρίας. Η αριστερή και δεξιά πλευρά του προσώπου μας είναι λίγο πολύ το ίδιο. Ένας τυπικός αστερίας έχει πενταπλάσια συμμετρία, πράγμα που σημαίνει ότι αν περιστρέψετε το σώμα του έως το 1/5 ενός κύκλου, μοιάζει να μην περιστρέφεται καθόλου. Ένας κύκλος έχει ακόμη βαθύτερη συμμετρία. Δεν έχει σημασία πόσο πολύ τον περιστρέφουμε. Ο περιστρεφόμενος κύκλος μοιάζει με τον παλιό.



Όλες οι συμμετρίες που προαναφέρθηκαν είναι συμμετρίες σχήματος και μορφής - τέτοιες που μπορούν να παρατηρηθούν με τα μάτια μας. Οι συμμετρίες που αποτελούν τη βάση των θεμελιωδών νόμων της φύσης σχετίζονται με αυτές κατά κάποιο τρόπο, αλλά αντί να επικεντρώνονται στη μορφή, απαντούν σε μια διαφορετική ερώτηση: ποιοι μετασχηματισμοί μπορούν να πραγματοποιηθούν στον κόσμο γύρω μας που να αφήνουν απαράλλακτους τους νόμους που διέπουν όλα τα παρατηρούμενα φαινόμενα;

Η συμμετρία λοιπόν αντιπροσωπεύει την απουσία ορατής αλλαγής σε οποιαδήποτε μεταβολή, όπως σε σχήματα, φράσεις, φυσικούς νόμους ή μαθηματικές εκφράσεις που μένουν απαράλλακτα σε συγκεκριμένους μετασχηματισμούς.

Ένα παράδειγμα είναι η αρχή διατήρησης της ενέργειας: Η ολική ενέργεια σε ένα απομονωμένο σύστημα παραμένει σταθερή. Όλα τα πειράματα φυσικής έως σήμερα έχουν επιβεβαιώσει αυτή την αρχή, η οποία απορρέει από το γεγονός ότι οι νόμοι της φύσης παραμένουν ίδιοι κάθε χρονική στιγμή από τη δημιουργία του σύμπαντος. Με άλλα λόγια, το σύμπαν είναι συμμετρικό στις χρονικές μεταθέσεις. Ας θεωρήσουμε ένα σύμπαν, στο οποίο οι νόμοι της φυσικής δεν παρέμεναν οι ίδιοι. Ο βρασμός του νερού μπορεί να απαιτούσε περισσότερη ενέργεια την Δευτέρα, απ΄ ότι την Πέμπτη. Η δραστηριότητα στα κύτταρά σας θα μπορούσε να αλλάξει ανά πάσα στιγμή, αλλάζοντας τον τρόπο με τον οποίο το σώμα σας λειτουργεί. Η ενέργεια που θα ελευθερωνόταν όταν οι πυρήνες συντήκονται θα είχε διακυμάνσεις, μεταβάλλοντας την ενέργεια του Ήλιου και επηρεάζοντας δραστικά τη ζωή στη Γη.

Η συμμετρία που εγκολπώνεται στους φυσικούς νόμους, όπως η διατήρηση της ενέργειας, κρίνει τη φύση του κόσμου μας.

Βρέθηκε ότι οι νόμοι της φύσης υπακούουν σε μερικές από τις συμμετρίες που έχουμε ήδη συναντήσει, καθώς και μερικές άλλες, πιο ακατανόητες. Καταρχήν, οι νόμοι έχουν συμμετρία μετατόπισης. Η εκδήλωση αυτής της ιδιότητας είναι απλή: είτε πραγματοποιείται ένα πείραμα στη Νέα Υόρκη, είτε στο Λος Άντζελες, είτε στην άλλη άκρη του Γαλαξία, είτε σε ένα Γαλαξία δισεκατομμύρια έτη φωτός μακριά, μπορείτε να περιγράψετε τα αποτελέσματα χρησιμοποιώντας τους ίδιους νόμους. Πώς ξέρουμε ότι αυτό είναι αλήθεια; Επειδή οι παρατηρήσεις γαλαξιών σε όλο το σύμπαν δεν δείχνουν μόνο ότι ο νόμος της βαρύτητας είναι ο ίδιος παντού, αλλά και ότι τα άτομα υδρογόνου στο τέλος του παρατηρούμενου σύμπαντος υπακούουν ακριβώς στους ίδιους νόμους του ηλεκτρομαγνητισμού και της κβαντομηχανικής που υπακούουν και εδώ στη Γη.

Οι νόμοι της φύσης έχουν επίσης συμμετρία περιστροφής - οι νόμοι είναι ίδιοι, είτε μετράμε αποστάσεις ως προς το βόρειο πόλο, είτε ως προς το γειτονικό καφενείο - η φυσική δεν έχει προτιμητέα κατεύθυνση στο χώρο.

Αν δεν υπήρχε αυτή η αξιοπρόσεχτη συμμετρία των νόμων, σε μετατοπίσεις και περιστροφές, δεν θα υπήρχε καμία ελπίδα να καταλάβουμε ποτέ τα διάφορα μέρη του Σύμπαντος. Επιπλέον, ακόμα και εδώ στη Γη, αν οι νόμοι δεν ήταν συμμετρικοί, τα πειράματα θα έπρεπε να επαναλαμβάνονται συνεχώς σε κάθε εργαστήριο του κόσμου.

2.5.1 Οι συμμετρίες CPT

Εκτός από τις προαναφερθείσες συμμετρίες, υπάρχουν στο χώρο των σωματιδίων τρείς κύριες συμμετρίες: Ο κατοπτρισμός ως προς τον χρόνο T (Time Reversal), ο κατοπτρισμός ως προς το χώρο (Space Inversion), που λέγεται ομοτιμία P (Parity) και τέλος ο κατοπτρισμός ως προς το φορτίο C (Charge Conjugation). Και οι τρείς λέγονται με μία λέξη CPT.

Το νόμο της διατήρησης της ομοτιμίας (parity) είχε ανακαλύψει ο Eugene Wigner την δεκαετία του 1930 κι έγινε αναπόσπαστο μέρος της Κβαντικής Φυσικής. Η ομοτιμία P που δεν συναντάται στην κλασσική Φυσική, περιγράφει δύο τιμές που μπορεί να πάρει ένα σωμάτιο. Την άρτια και την περιττή. Και η διατήρηση της κράτησε μέχρι το 1956.
Το αναλλοίωτο των φυσικών νόμων ως προς την συζυγία του ηλεκτρικού φορτίου, είναι κάτι το αποδεδειγμένο στην Φυσική των στοιχειωδών σωματιδίων. Καμιά αλλαγή δεν παρατηρείται στην κίνηση ενός φορτίου αν αλλάξει το πρόσημο του και ταυτόχρονα η διεύθυνση του ηλεκτρικού ή μαγνητικού πεδίου μέσα στο οποίο κινείται. Οι φυσικοί νόμοι παρουσιάζονται να είναι αναλλοίωτοι στην αλλαγή των προσήμων όλων των φορτίων. Κι αυτό αναφέρεται σαν συζυγία φορτίου.
Η συμμετρία του χρόνου προέκυψε από την ιδέα του μη επηρεασμού της κατεύθυνσης του χρόνου, για τα σωματίδια.
Το CPT είναι ένα σπουδαίο θεώρημα της Φυσικής, το οποίο λέει ότι οι νόμοι της Φυσικής πρέπει να παραμένουν ανεπηρέαστοι (αναλλοίωτοι) από την αλλαγή και των τριών συμμετριών με των αντιστοίχων σωματιδίων.
Το 1956 όμως δύο Κινεζο-αμερικανοί Φυσικοί, οι Tsung Dao Lee και Chen Ning Yang, υπέθεσαν ότι η ασθενής πυρηνική αλληλεπίδραση δεν υπακούει στη συμμετρία P, γιατί το σωματίδιο φορέας της ασθενούς αλληλεπίδρασης μποζόνιο W, έχει μάζα και φορτίο. Αυτό σημαίνει ότι η ασθενής αλληλεπίδραση ανάγκασε το Σύμπαν να εξελιχθεί διαφορετικά απ' ότι θα εξελίσσονταν το κατοπτρικό του Σύμπαν. Ανακαλύφθηκε επίσης ότι η ασθενής αλληλεπίδραση δεν υπακούει και στην συμμετρία C. Αυτό σημαίνει ότι ένα Σύμπαν με αντισωματίδια εξελίσσεται διαφορετικά από το δικό μας.
Μέχρι το 1964, οι Φυσικοί πίστευαν ότι σε όλα τα μικροσκοπικά φαινόμενα οι δύο κατευθύνσεις του χρόνου είναι απολύτως ισοδύναμες. Αλλά δύο άλλοι Αμερικανοί Φυσικοί, ο J. Cronin και ο Val Fitch ανακάλυψαν ότι, κατά τη διάσπαση κάποιων σωματιδίων που ονομάζονται Κ-μεσόνια, η συνδυασμένη συμμετρία CP έπαυε να ισχύει. Και μάλιστα αυτό συνεπάγεται συγχρόνως την παραβίαση, σε όρισμένες σπάνιες περιπτώσεις, και της αντιστροφής του χρόνου.
Σύμφωνα με κάποιο μαθηματικό θεώρημα κάθε θεωρία που υπακούει στους νόμους της κβαντικής μηχανικής και της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας πρέπει επίσης να υπακούει στην συνδυασμένη συμμετρία CPT. Δηλαδή, το Σύμπαν πρέπει να εξελίσσεται με τον ίδιο τρόπο αν αντικαταστήσουμε τα σωματίδια με τα αντισωματίδια τους, πάρουμε το κατοπτρικό του Σύμπαν και αντιστρέψουμε τον χρόνο. Ο Cronin και Fitch έδειξαν ότι αν κάνουμε τις δύο πρώτες αντιστροφές C και P κι όχι την αντιστροφή του χρόνου, το Σύμπαν δεν εξελίσσεται με τον ίδιο τρόπο. Η αντιστροφή του χρόνου πρέπει να αλλάζει κάποιους νόμους της Φύσης!
Το Σύμπαν που υπακούει στη συνδυασμένη συμμετρία CPT, αφού δεν υπακούει στη συνδυασμένη συμμετρία CP, δεν πρέπει να υπακούει και στη συμμετρία T.
Το συμπέρασμα για το διαστελλόμενο Σύμπαν είναι ότι αν αντιστρέψουμε την κατεύθυνση του χρόνου, τότε το Σύμπαν δεν διαστέλλεται πιά αλλά συστέλλεται. Και έτσι η αντιστροφή του χρόνου αλλάζει κάποιους νόμους της Φύσης.

Η απαίτηση οι νόμοι της φύσης να είναι συμμετρικοί, σε συγκεκριμένους μετασχηματισμούς, δεν υπαγορεύει μόνο τη μορφή αυτών των νόμων, αλλά επιπλέον, σε μερικές περιπτώσεις επιβάλλει την ύπαρξη δυνάμεων[34].

2.5.2 Συμμετρία και οι δυνάμεις της φύσης

Όσον αφορά τις δυνάμεις, η ιδέα είναι ότι, καθώς το Σύμπαν κρύωνε μετά από τη Μεγάλη Έκρηξη (Big Bang), σε μια εποχή στην οποία ήταν ομοιόμορφο και εξαιρετικά συμμετρικό, οι δυνάμεις[35] κατά κάποιο τρόπο κρυσταλλώθηκαν και έγιναν διαφορετικές[36].

Η ασθενής και η ηλεκτρομαγνητική δύναμη φαίνονται πολύ διαφορετικές σήμερα που το σύμπαν έχει σχετικά χαμηλή θερμοκρασία. Αλλά όταν το Σύμπαν ήταν πολύ θερμότερο, έτσι ώστε η θερμική ενέργεια ισορροπίας ήταν της τάξεως των 100 GeV, αυτές τις δυνάμεις μπορεί να φαίνονταν ουσιαστικά ταυτόσημες - μέρος της ίδιας ενωμένης ηλεκτρασθενούς δύναμης. Αλλά επειδή το σωματίδιο φορέας του ηλεκτρομαγνητικού τμήματος της (ενωμένης δύναμης) είναι το άμαζο φωτόνιο και τα σωματίδια φορείς για την ασθενή αλληλεπίδραση είναι τα σωματίδια W και Z που έχουν μάζα, η συμμετρία αυθόρμητα έσπασε όταν η διαθέσιμη ενέργεια μειώθηκε κάτω από τα 80 GeV και έτσι η ασθενής και η ηλεκτρομαγνητική δύναμη πήραν σαφώς μια διαφορετική όψη. Το μοντέλο λέει ότι σε ακόμη υψηλότερες θερμοκρασίες, υπάρχει συμμετρία της ηλεκτρασθενούς με την ισχυρή αλληλεπίδραση, η μεγάλη ενοποίηση των δυνάμεων. Και ακόμη σε υψηλότερη, ίσως και οι τέσσερις δυνάμεις (μαζί με την βαρύτητα) ήταν ενωμένες κάτω από μια ενιαία δύναμη.

Στη σύγχρονη φυσική συμβαίνει, οι θεμελιώδεις αρχές της συμμετρίας να ορίζουν τις θεμελιώδεις δυνάμεις της.

Γενικά η συμμετρία ενός συστήματος σπάζει αυθόρμητα όταν η κατώτατη ενεργειακά κατάσταση του συστήματος παύει να είναι αναλλοίωτη κάτω από τους μετασχηματισμούς της συγκεκριμένης συμμετρίας.

---

34. Βλέπε άρθρο του Livio, M. (2008) «*Το μέτρο της Συμμετρίας».* European journal «Science in School», Μετάφραση Αντώνης Γίτσας (Antonis Gitsas), http://www.scienceinschool.org/el/2006/issue2/symmetry

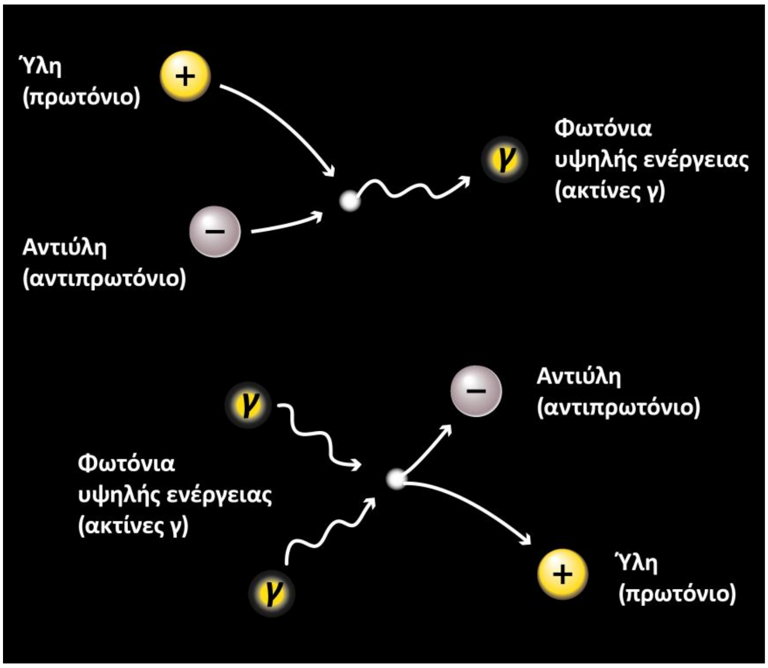
35. Βλέπε σελ. 75 – 78

36. Βλέπε άρθρο «*Symmetry making and symmetry breaking*». Submitted by Marianne Freiberger Editor of Plus magazine. She interviewed John D. Barrow and John Ellis in December 2015, https://plus.maths.org/content/symmetry-making-and-symmetry-breaking

2.6 Τα βασικά στάδια της ιστορίας του Σύμπαντος

Η ιστορία του Σύμπαντος μπορεί να υποδιαιρεθεί σε τέσσερεις περιόδους με βάση τις θεωρίες της Φυσικής των στοιχειωδών σωματιδίων από το 10^{-35} s από τη Μεγάλη Έκρηξη και μετά:

(α) Περίοδος των **αδρονίων** ή βαρέων σωματιδίων[37] (βλέπε σχ. 2.5)



Σχήμα 2.5: Δημιουργία βαρέων σωματιδίων ύλης (πρωτόνιο) και αντιύλης (αντιπρωτόνιο) από την αλληλεπίδραση δύο φωτονίων υψηλής ενέργειας (ακτίνες γ μεγάλης συχνότητας).
Από την αμοιβαία καταστροφή δύο αντισωματιδίων (πρωτονίου – αντιπροτωνίου) παράγειται φωτόνιο γ υψηλής ενέργειας.
Διαδικασίες σαν αυτές κυριάρχησαν κατά την αδρονική φάση και οδήγησαν σε μια δυναμική ισορροπία ύλης, αντιύλης και ακτινοβολίας. Ωστόσο, οι διαδικασίες σχηματισμού σωματιδίων και αντισωματιδίων δεν είναι εντελώς ισοπίθανες. Από την ελάχιστη αυτή ασυμμετρία ευνοείται η ύλη. Έτσι το Σύμπαν αποτελείται σήμερα σχεδόν αποκλειστικά από σωματίδια ύλης.

---

37. Βλέπε πρόσθετο «Υποατομικά σωματίδια», σελ. 71 - 74

Σημείωση: Η ύλη και η αντιύλη δημιουργήθηκαν ταυτόχρονα τη στιγμή της Μεγάλης Έκρηξης. Αλλά μόλις μερικά κλάσματα του μικροδευτερολέπτου αργότερα, η ύλη και η αντιύλη συγκρούστηκαν κι εξαϋλώθηκαν. Στην περίπτωση αυτή, θα ήταν μια πολύ λεπτή διαφορά του αριθμού σωματιδίων που θα ήταν υπεύθυνη για την κυριαρχία της ύλης επί της αντιύλης (για παράδειγμα: 1.000.000.001 σωματίδια ύλης για κάθε 1.000.000.000 σωματίδια αντιύλης). Αυτή η θεωρία δεν εξαιρεί την πιθανότητα ένα αντίθετο φαινόμενο να έχει συμβεί σε μια άλλη διάσταση, επομένως την πιθανότητα ότι υπάρχει άλλο σύμπαν στο οποίο η αντιύλη είναι αυτή που έχει το μικρό αριθμητικό προβάδισμα. Θα γινόταν τότε λόγος για αντισύμπαν.



(β) Περίοδος των **λεπτονίων** ή ελαφρών σωματιδίων[38]

(γ) Περίοδος του **πλάσματος** και

(δ) Περίοδος της **ύλης**

Οι περίοδοι α, β, και γ συνιστούν την **εποχή της ακτινοβολίας (το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας του Σύμπαντος βρίσκεται στα φωτόνια),** ενώ η περίοδος δ την **εποχή της ύλης (η ενέργεια βρίσκεται κυρίως σε υλική μορφή)**.

Κοινό χαρακτηριστικό όλων αυτών των φάσεων της κοσμικής ιστορίας είναι η διαστολή του Σύμπαντος που ακολούθησε τη Μεγάλη Έκρηξη.

Η διαστολή αυτή, που ήταν ταχύτατη στα αρχικά της στάδια, προκάλεσε συνεχή πτώση της θερμοκρασίας και της πυκνότητας του Σύμπαντος (βλέπε σχ. 2.6, σελ. 66)

---

38. Βλέπε πρόσθετο «Υποατομικά σωματίδια», σελ. 68, 70 - 72



(α) Περίοδος των αδρονίων ή βαρέων σωματιδίων:

Διήρκεσε λιγότερο από 10^{-6} s μετά τη Μεγάλη Έκρηξη. Η θερμοκρασία του Σύμπαντος ήταν μεγαλύτερη από 10^{12} K.

Στην περίοδο των αδρονίων, τα φωτόνια έχουν τόσο μεγάλη ενέργεια, ώστε μετασχηματίζονται σε σωματίδια ύλης και αντιύλης (πρωτόνια και αντιπρωτόνια). Ωστόσο, όταν αυτά συναντηθούν μεταξύ τους, καταστρέφονται αμοιβαία και παράγουν πάλι φωτόνια. Έτσι, αποκαταστάθηκε μια πρόσκαιρη δυναμική ισορροπία. Η φάση αυτή χαρακτηρίζεται από ισόρροπη δημιουργία και καταστροφή αδρονίων. Το Σύμπαν αποτελείται από φωτόνια, σωματίδια ύλης και σωματίδια αντιύλης ομοιόμορφα κατανεμημένα σ' όλο το χώρο.

(β) Περίοδος των λεπτονίων ή ελαφρών σωματιδίων:

Διήρκεσε από 10^{-6} έως 6 s μετά την Μεγάλη Έκρηξη. Η θερμοκρασία μεταβλήθηκε από 10^{13} στους $6{\cdot}10^{9}$ K.

Η γρήγορη διαστολή προκάλεσε πτώση της θερμοκρασίας και μείωση της ενέργειας των φωτονίων. Τα φωτόνια την περίοδο αυτή μπορούν να δημιουργούν ελαφρότερα σωματίδια (λεπτόνια), που απαιτούν λιγότερη ενέργεια. Κατά την περίοδο των λεπτονίων οι πιο σημαντικές αλληλεπιδράσεις ήταν: η παραγωγή φωτονίων υψηλής ενέργειας, ο σχηματισμός ζευγών ηλεκτρονίων – ποζιτρονίων από φωτόνια γ και ο σχηματισμός νετρονίων από αντιδράσεις μεταξύ πρωτονίων και ηλεκτρονίων ή αντιπρωτονίων και ποζιτρονίων.

(γ) Περίοδος πλάσματος:

Διήρκεσε 1 εκατομμύριο χρόνια από τη Μεγάλη Έκρηξη. Η θερμοκρασία του Σύμπαντος μεταβλήθηκε από τους 10^{9} στους 3000 K.

Από τα πρωτόνια και τα νετρόνια των προηγούμενων φάσεων, δημιουργήθηκαν οι πυρήνες των ελαφρότερων στοιχείων (ισότοπα υδρογόνου: δευτέριο και τρίτιο, ήλιο, λίθιο και βηρύλλιο).

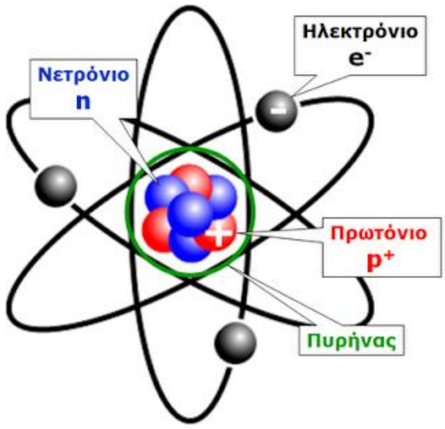
Η ύλη είναι πλήρως ιονισμένη, δίχως ηλεκτρόνια γύρω από τους πυρήνες των ατόμων, λόγω της υψηλής ακόμα θερμοκρασίας. Το Σύμπαν συμπεριφέρεται σαν ένα πολύ πυκνό και θερμό αέριο που αποτελείται από σωματίδια, πυρήνες ελαφρών στοιχείων και ακτινοβολία. Η ακτινοβολία αλληλεπιδρά ισχυρά με την ιονισμένη ύλη, το φάσμα της είναι συνεχές και διαχέεται ομοιόμορφα σε ολόκληρο το Σύμπαν. Πρόκειται για τον πρόγονο της ακτινοβολίας υποβάθρου.

(δ) Περίοδος της ύλης:

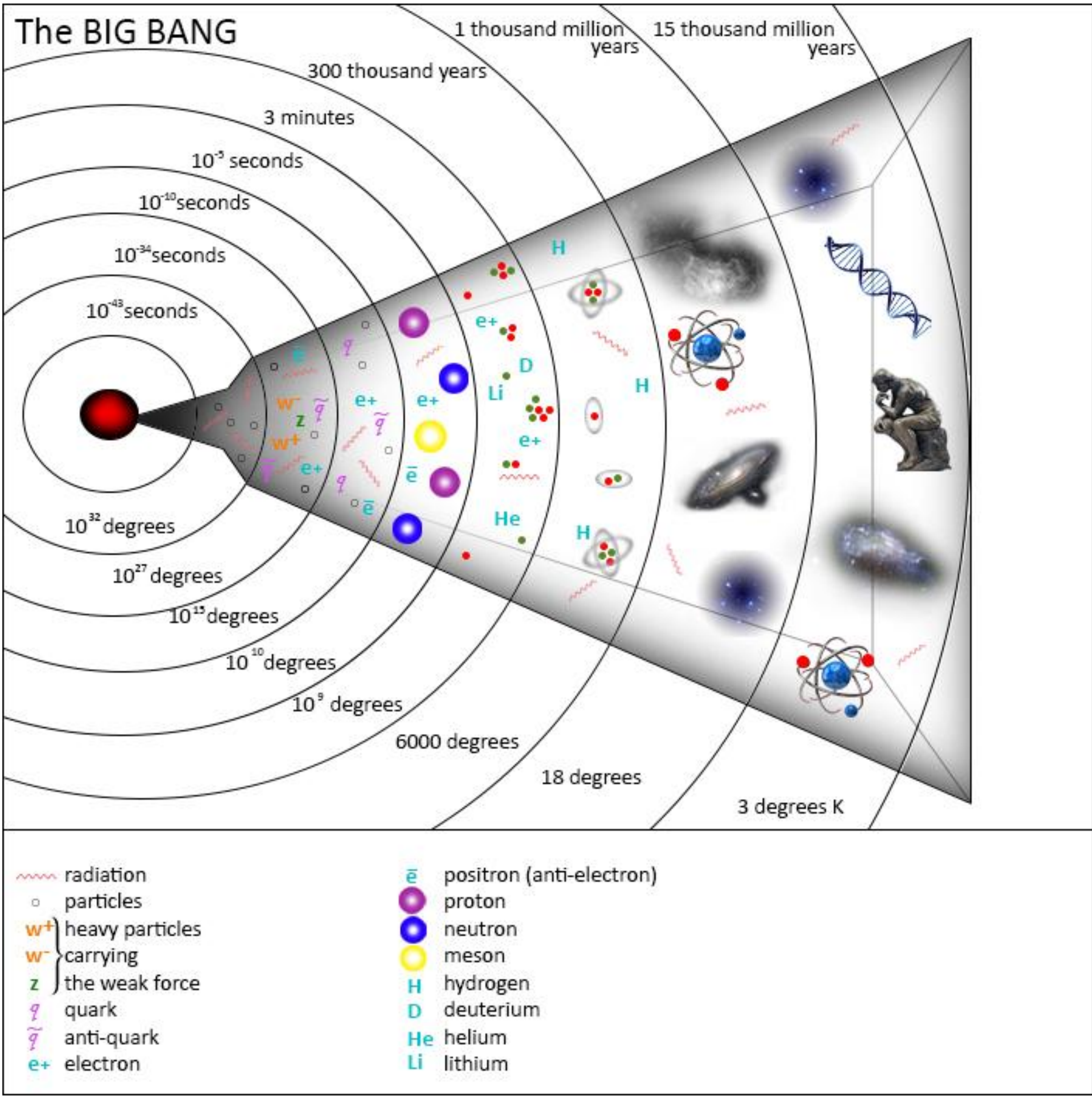
Διαρκεί από το τέλος της περιόδου του πλάσματος έως σήμερα. Όταν η θερμοκρασία έπεσε στους 3000 K, έγινε δυνατός ο σχηματισμός των πρώτων ατόμων: Οι πυρήνες των ελαφρών στοιχείων, που είχαν ήδη συντεθεί, παγίδευσαν ηλεκτρόνια και δημιουργήθηκαν τα αντίστοιχα ουδέτερα άτομα[39] υδρογόνου, δευτερίου, τριτίου, ηλίου, λιθίου και βηρυλλίου. Η ύλη, που πλέον είναι ουδέτερη, δεν παγιδεύει την ακτινοβολία, η οποία αποδεσμεύεται από αυτήν. Καθώς το Σύμπαν διαστέλλεται και ψύχεται, η θερμοκρασία της μειώνεται μέχρι τη σημερινή τιμή των 2,7 K. Η ακτινοβολία αυτή δεν είναι άλλη από την ακτινοβολία υποβάθρου.

Κατά την περίοδο αυτή, τοπικές διαταραχές της ομοιογένειας της κοσμικής ύλης, προκάλεσαν το σχηματισμό των γαλαξιών και των αστέρων. Στους πυρήνες των αστέρων δημιουργήθηκαν τα υπόλοιπα γνωστά μας στοιχεία[40]. Τελικά, σε κάποιο ή κάποια πλανητικά συστήματα διαμορφώθηκαν οι κατάλληλες προϋποθέσεις για την εμφάνιση της ζωής.

39. Το **άτομο** είναι το μικρότερο σωματίδιο ενός χημικού στοιχείου, το οποίο διατηρεί τις χημικές ιδιότητες του στοιχείου με την έννοια του ότι παραμένει αμετάβλητο κατά την εξέλιξη ενός χημικού φαινομένου (χημική αντίδραση).



40. **Χημικό στοιχείο**, ή *στοιχείο*, είναι χημική ουσία που αποτελείται από ένα τύπο ατόμων, που διακρίνεται από τον (χαρακτηριστικό) ατομικό αριθμό του, που ισούται με τον αριθμό των πρωτονίων στον ατομικό πυρήνα του. (Πρόκειται για ένα φυσικό σώμα που δεν μπορεί να διαιρεθεί σε άλλα φυσικά σώματα με τις συνηθισμένες χημικές μεθόδους που δεν παρεμβαίνουν στον πυρήνα του ατόμου).



Σχήμα 2.6: Στάδια της εξέλιξης του Σύμπαντος από τη Μεγάλη Εκρηξη

2.7 Υποατομικά σωματίδια - Οι τέσσερεις δυνάμεις - Το Καθιερωμένο Πρότυπο - Τα ταχυόνια

Σ΄αυτό το πρόσθετο θα εξετάσουμε από ποια συστατικά αποτελείται η ύλη του σύμπαντος και ποιες δυνάμεις τη διέπουν.

2.7.1 Υποατομικά σωματίδια

Τα υποατομικά σωματίδια είναι στοιχειώδη ή σύνθετα σωματίδια μικρότερα από το άτομο. Τα γνωστότερα, το πρωτόνιο, το νετρόνιο και το ηλεκτρόνιο είναι απλώς τρία από αυτά. Τα υπόλοιπα βρίσκονται στις κοσμικές ακτίνες ή παράγονται στους επιταχυντές σωματιδίων, με τη σύγκρουση άλλων σωματιδίων σε πολύ υψηλές ενέργειες. Έτσι, αποκαλύφθηκε η ύπαρξη ενός μεγάλου αριθμού ασταθών στοιχειωδών σωματιδίων. Εκτός από μια «χούφτα» σωματίδια, τα υπόλοιπα είναι υπερβολικά ασταθή και διασπώνται σε άλλα σωματίδια μέσα σε κλάσματα του δευτερολέπτου.

Όλα τα μέλη ενός είδους σωματιδίων είναι απολύτως όμοια μεταξύ τους και έτσι δεν υπάρχει κανένας τρόπος παραδείγματος χάριν να διακρίνουμε ένα ηλεκτρόνιο από κάποιο άλλο. Για κάθε σωματίδιο ύλης υπάρχει ένα αντισωματίδιο αντιύλης (anti-matter) που έχει την ίδια μάζα και σπιν με το αντίστοιχο σωμάτιο, αλλά αντίθετο ηλεκτρικό φορτίο. Μερικά σωματίδια είναι τα ίδια το αντισωματίδιο του εαυτού τους, όπως το φωτόνιο γ. Όταν ένα σωματίο και ένα αντισωμάτιο αλληλεπιδράσουν, εξαϋλώνονται δίνοντας το αντίστοιχο της μάζας τους σε ενέργεια με τη μορφή φωτονίων.

Τα σωματίδια χαρακτηρίζονται από διάφορες φυσικές ιδιότητες. Δύο από τις πιο σημαντικές είναι η μάζα (η ποσότητα της ύλης που περιέχεται σε ένα σώμα) και το ηλεκτρικό φορτίο. Με τον όρο ηλεκτρικό φορτίο εννοούμε μια ιδιότητα ορισμένων υποατομικών σωματιδίων, η οποία καθορίζει τις μεταξύ τους ηλεκτρομαγνητικές αλληλεπιδράσεις. Το ηλεκτρικό φορτίο είναι μια ποσότητα που διατηρείται και είναι κβαντισμένη, δηλαδή υπάρχει μόνο σε διακριτές οντότητες, ακέραια πολλαπλάσια του θεμελιώδους φορτίου του ηλεκτρονίου (e^-). Οι λόγοι που συμβαίνει αυτό δεν έχουν γίνει ακόμα γνωστοί. Οι μάζες, όμως, των διαφόρων σωματιδίων δεν υπακούν σε μια μεταξύ τους απλή αριθμητική σχέση.

Ένα άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό των υποατομικών σωματιδίων είναι το σπιν τους. Ένα είδος «εσωτερικής περιστροφής» των σωματιδίων, που μερικές φορές μπορεί να προσομοιωθεί με την περιστροφή ενός σώματος γύρω από τον άξονα του. Στην πραγματικότητα το σπιν είναι μια κβαντομηχανική ιδιότητα και δεν έχει άμεσο ανάλογο στην κλασική μηχανική.

Για να αποσαφηνίσουμε τη διαφορά του από τη συνηθισμένη περιστροφή ενός σώματος θα πρέπει να εξετάσουμε ποιες τιμές παίρνει η στροφορμή. Η στροφορμή ενός μακροσκοπικού σώματος παίρνει οποιαδήποτε τιμή από ένα συνεχές πεδίο τιμών. Στην περίπτωση όμως ενός υποατομικού σωματιδίου η στροφορμή του είναι «κβαντισμένη»[41], δηλαδή το σπιν του δεν μπορεί να πάρει οποιαδήποτε τιμή, αλλά μόνο συγκεκριμένες τιμές, που είναι ακέραια πολλαπλάσια του (1/2) h, όπου h η σταθερά του Planck, διαιρεμένη με 2π. Λέμε ότι ένα σωματίδιο με σπιν (1/2) h έχει «σπιν 1/2». Έτσι, το ηλεκτρόνιο έχει σπιν 1/2, το φωτόνιο έχει σπιν 1 κτλ.

Ακόμη υπάρχουν και ιδιαιτερότητες που αφορούν γεωμετρικές ιδιότητες του σπιν. Για παράδειγμα, η περιστροφή ενός σωματιδίου με σπιν 1/2 κατά 360° δεν το επαναφέρει στην αρχική του κατάσταση, όπως συμβαίνει με τα συνηθισμένα αντικείμενα, αλλά προκύπτει μια κβαντομηχανική κατάσταση με διαφορετικές φυσικές ιδιότητες. Για να επανέλθει στην αρχική του κατάσταση θα χρειαστούν δύο πλήρεις περιστροφές. Το σωματίδιο με σπιν 1/2 μοιάζει να βλέπει «μεγαλύτερο» Κόσμο από αυτό που βλέπουμε εμείς. Ό,τι για μας είναι δύο παρόμοια «αντίγραφα» του Σύμπαντος, ένα για κάθε στροφή 360°, για το σωματίδιο είναι διαφορετικά. Προφανώς η γεωμετρία του χώρου διαφέρει θεμελιωδώς για το σωματίδιο με σπιν 1/2.

Επίσης προκύπτει ότι η ακριβής τιμή του σπιν ενός σωματιδίου διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στον προσδιορισμό των φυσικών ιδιοτήτων του. Τα σωματίδια με άρτιο αριθμό μονάδων σπιν [(1/2) h] συμπεριφέρονται εντελώς διαφορετικά από εκείνα που έχουν περιττό αριθμό. Τα πρώτα ονομάζονται μποζόνια (bosons) και τα δεύτερα φερμιόνια (fermions). Τα φερμιόνια υπακούουν στην απαγορευτική αρχή του Pauli, σύμφωνα με την οποία δύο όμοια σωματίδια δεν μπορούν να καταλαμβάνουν ταυτόχρονα την ίδια κβαντική κατάσταση[42] (είναι αδύνατο δηλαδή να υπάρξουν στο ίδιο άτομο ή μόριο πάνω από δύο ηλεκτρόνια στην ίδια ενεργειακή στάθμη. Επιπλέον, αν δύο ηλεκτρόνια βρίσκονται στην ίδια ενεργειακή στάθμη, υποχρεωτικά έχουν αντίθετο σπιν). Τούτος ο περιορισμός δεν αφορά τα μποζόνια τα οποία μπορούν να βρίσκονται στην ίδια κατάσταση στην ίδια περιοχή του χώρου.

Αν τα φερμιόνια που είναι οι δομικοί λίθοι της ύλης δεν υπάκουαν στην αρχή του Pauli, θα ήταν δυνατή η απεριόριστη συσσώρευσή τους στην ίδια περιοχή του χώρου υπό την επίδραση των αμοιβαίων έλξεων, με αποτέλεσμα την πλήρη κατάρρευση της ύλης σε ένα «σημείο» άπειρης πυκνότητας[43]. Συνεπώς η ύλη δεν θα είχε τη σημερινή της μορφή, ούτε το σύμπαν θα είχε την ίδια εξέλιξη.

Οι δομικοί λίθοι της ύλης, που είναι στοιχειώδη υποατομικά σωματίδια και έχουν σπιν 1/2, χωρίζονται σε δύο συγκεκριμένες κατηγορίες: Στην πρώτη ανήκουν τα 6 κουάρκ (quarks) γεύσεις: up (πάνω), down (κάτω), strange (παράξενο), charm (γοητευτικό), bottom (βυθός) ή beauty (ομορφιά), και top (κορυφή) και στη δεύτερη τα 6 λεπτόνια (leptons: «λεπτά, ελαφριά σωματίδια»): ηλεκτρόνιο (e), μιόνιο (μ), ταυ (τ), ηλεκτρονικό νετρίνο (Ve), μιονικό νετρίνο (Vμ), και ταυ νετρίνο (Vτ). Παρατηρούμε ότι, με κάθε νετρίνο σχετίζεται ως προς τη συμπεριφορά του, ένα φορτισμένο λεπτόνιο.

1η ομάδα ●, 2η ομάδα ●, 3η ομάδα ●

41. Η κβάντωση είναι ένα φαινόμενο το οποίο παρατηρείται να συμβαίνει και κατέχει κεντρική σημασία στη θεωρία της κβαντικής μηχανικής. Ένα φυσικό μέγεθος είναι δυνατόν να είναι "κβαντωμένο", πράγμα που σημαίνει ότι το μέγεθος αυτό δεν μπορεί να πάρει οποιαδήποτε τιμή, αλλά μόνο συγκεκριμένες τιμές, δηλαδή ένα φυσικό μέγεθος έχει διακριτό φάσμα ιδιοτιμών αντί συνεχές φάσμα ιδιοτιμών.

42. Ο λόγος για τον οποίο η Απαγορευτική Αρχή του Pauli είναι αληθής και τα φυσικά όρια της αρχής μας είναι ακόμη άγνωστα (βλέπε θεωρία του στο άρθρο «*Η παραβίαση της απαγορευτικής αρχής του Pauli…*» physicsgg Φυσικοί και Φυσική από το διαδίκτυο, Posted on 23/05/2017,
https://physicsgg.me/2017/05/23/%CE%B7-).

43. Βλέπε σύγγραμμα του Τραχανά, Σ. (1994) «*Κβαντομηχανική ΙΙ: Τρισδιάστατα Προβλήματα – Κβαντική Θεωρία της Ύλης*». Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, 4η έκδοση, Ηράκλειο, σ. 174.

Τα τρία νετρίνα είναι ηλεκτρικώς ουδέτερα, αλληλεπιδρούν σπάνια με την «κανονική» ύλη, έχουν πολύ μικρή μάζα και κινούνται με την ταχύτητα του φωτός, κάτι που μετρήθηκε τον Μάρτιο του 2012 από το πείραμα «ICARUS».

Η ύπαρξή τους είχε προταθεί από τον Αυστριακό Φυσικό Βόλφγκανγκ Πάουλι (Wolfgang Pauli), ώστε να ισχύει η αρχή διατήρησης της ορμής και της ενέργειας στην ραδιενεργή εκπομπή ηλεκτρονίων από τον ατομικό πυρήνα, τη λεγόμενη β διάσπαση.

Οι τρεις τύποι νετρίνων διαφέρουν μεταξύ τους. Για παράδειγμα, όταν τα μιονικά νετρίνα αλληλεπιδρούν με κάποιο στόχο, θα παράγουν πάντα μιόνια και ποτέ ταυ ή ηλεκτρόνια.

Στις αλληλεπιδράσεις σωματιδίων, αν και τα ηλεκτρόνια και τα νετρίνα ηλεκτρονίων μπορούν να δημιουργούνται και να καταστρέφονται, το άθροισμα του αριθμού των ηλεκτρονίων και των νετρίνων των ηλεκτρονίων, διατηρείται σταθερό. Το γεγονός αυτό είναι που μας οδήγησε στη διαίρεση των λεπτονίων σε τρεις οικογένειες.

Τα χαρακτηριστικά των λεπτονίων αναφέρονται στον πίνακα 2.7 που ακολουθεί:

Πίνακας 2.7: Τα λεπτόνια

λεπτόνιο	φορτίο (q/e)	spin (s)	μάζα	λεπτονικός αριθμός e	λεπτονικός αριθμός μ	λεπτονικός αριθμός τ
e	-1	1/2	0,511 MeV	1	0	0
μ	-1	1/2	107 MeV	0	1	0
τ	-1	1/2	1584 MeV	0	0	1
ν_e	0	1/2	< 30 eV	1	0	0
ν_μ	0	1/2	< 0,5 MeV	0	1	0
ν_τ	0	1/2	< 150 MeV	0	0	1

Τα αντισωμάτια των παραπάνω λεπτονίων έχουν ίδια μάζα, αντίθετο φορτίο και αντίθετους λεπτονικούς αριθμούς.

Τα έξι λεπτόνια διακρίνονται από το ότι οι αλληλεπιδράσεις τους είναι σχετικά ασθενείς: δεν συμμετέχουν στις πυρηνικές αντιδράσεις. Αντίθετα τα «πυρηνικά» σωματίδια αλληλεπιδρούν ισχυρά. Αυτά και όσα παράγονται από πυρηνικές αντιδράσεις ονομάζονται αδρόνια (hadrons). Τα αδρόνια, που είναι σύνθετα υποατομικά σωμάτια, αποτελούνται από μικρότερα τμήματα, τα στοιχειώδη κουάρκ. Τα κουάρκ συνδυάζονται μεταξύ τους και σχηματίζουν τα αδρόνια, τα οποία χωρίζονται με δύο διαφορετικούς τρόπους σε δύο κατηγορίες:

- Τα φερμιονικά αδρόνια ή βαρυόνια (baryons, ονομάζονται έτσι λόγω του βάρους τους) που αποτελούνται από τρία κουάρκ. Σύμφωνα με τους κανόνες της κβαντικής μηχανικής, τα σπιν των κουάρκ πρέπει να είναι ή παράλληλα ή αντιπαράλληλα μεταξύ τους, έτσι τα τρία κουάρκ με σπιν 1/2 σχηματίζουν ένα βαρυόνιο με σπιν ή 1/2 ή 3/2 Όλα τα γνωστά βαρυόνια σχηματίζονται από διάφορους συνδυασμούς των γεύσεων των κουάρκ. Για παράδειγμα το πρωτόνιο αποτελείται από δύο up και ένα down κουάρκ, ενώ το νετρόνιο από δύο down και ένα up, η σύνδεση των οποίων οφείλεται στην ισχυρή πυρηνική δύναμη. Το πρωτόνιο και το νετρόνιο αποτελούν τους δομικούς λίθους του ατομικού πυρήνα[44].
- Τα μεσόνια (mesons, ονομάζονται έτσι διότι η μάζα τους παίρνει ενδιάμεσες τιμές) τα οποία αποτελούνται από ζεύγος ενός κουάρκ (quark) κι ενός αντικουάρκ (antiquark). Σε αυτή την περίπτωση οι κανόνες της κβαντικής μηχανικής απαιτούν το ολικό σπιν να είναι ή 0 ή 1, δηλαδή προκύπτει πάντοτε ένα μποζόνιο. Τα μεσόνια είχαν αρχικά προβλεφθεί θεωρητικά ως φορείς της δύναμης που κρατά τα νετρόνια και πρωτόνια μέσα στον πυρήνα.

Τα κουάρκ, τα οποία σχηματίζουν τα αδρόνια, δεν δύνανται να απομονωθούν. Παραμένουν μονίμως εγκλωβισμένα μέσα στα αδρόνια, λόγω της ισχυρής δύναμης μεταξύ τους. Αυτά και τα λεπτόνια είναι τα θεμελιώδη σωματίδια από τα οποία δημιουργείται όλη η ύλη.

Σημείωση: Όταν μια οντότητα είναι θεμελιώδης, δεν γίνεται να «διασπαστεί» ή να μετατραπεί σε κάτι άλλο μέσω κάποιας αναδιάταξης στο εσωτερικό της. Γι’ αυτό το λόγο τα κουάρκ και τα λεπτόνια θεωρούνταν πάντοτε σημειακά σωματίδια, χωρίς καμιά εσωτερική δομή.

---

44. Τα θετικά φορτισμένα πρωτόνια και τα ηλεκτρικά ουδέτερα νετρόνια, που αποτελούν τα νουκλεόνια του πυρήνα, έχουν περίπου 1836 και 1838 φορές αντίστοιχα μεγαλύτερη μάζα από τα αρνητικά φορτισμένα ηλεκτρόνια που κινούνται (μόνο την πιθανότητα εύρεσης ενός ηλεκτρονίου μπορούμε να γνωρίζουμε γύρω από τον πυρήνα, όπως καθορίζει η κβαντική μηχανική) γύρω από τον ατομικό πυρήνα.

(α) Νόμοι διατήρησης

Τα περισσότερα από τα αδρόνια είναι εξαιρετικά ασταθή. Διασπώνται πολύ γρήγορα (σε 10^{-23} - 10^{-6} sec), δίδοντας άλλα σωματίδια. Τα βαρυόνια διασπώνται δίδοντας ως τελικό προιόν πρωτόνιο (το ελαφρότερο βαρυόνιο). Εν γένει, η συνήθης ύλη συντίθεται μόνο από πρωτόνια, νετρόνια και ηλεκτρόνια.

Ακολουθούν τρία παραδείγματα διασπάσεων/μεταστοιχειώσεων στοιχειωδών σωματιδίων.

$$\mathrm{p} + \pi^- \rightarrow \mathrm{K}^0 + \Lambda^0$$

$$\mathrm{p} + \pi^- \rightarrow \mathrm{K}^- + \Sigma^+$$

$$\mathrm{n} \rightarrow \mathrm{p} + \mathrm{e}^- + \overline{\nu_e}$$

Κατά τις διασπάσεις των στοιχειωδών σωματιδίων, εκτός από τους νόμους διατήρησης ενέργειας, ορμής, στροφορμής, και φορτίου, ισχύουν κάποιοι επιπλέον νόμοι διατήρησης. Αυτοί είναι ο νόμος διατήρησης του βαρυονικού αριθμού και του λεπτονικού αριθμού κάθε οικογένειας.

Η διατήρηση του βαρυονικού αριθμού μας λέει ότι ο αριθμός των βαρυονίων θα πρέπει να διατηρείται κατά την αντίδραση, και η διατήρηση του λεπτονικού αριθμού ότι ο αριθμός των λεπτονίων κάθε οικογένειας θα πρέπει να διατηρείται. (Με άλλα λόγια, στα βαρυόνια αποδίδουμε έναν νέο κβαντικό αριθμό, τον βαρυονικό - ίσο με μονάδα για κάθε βαρυόνιο - που θα πρέπει να διατηρείται. Ανάλογα, στα λεπτόνια αποδίδουμε τρεις λεπτονικούς αριθμούς, έναν για κάθε οικογένεια - π.χ. το ηλεκτρόνιο έχει λεπτονικό αριθμό ηλεκτρονίου 1 και τους υπόλοιπους λεπτονικούς αριθμούς μηδέν. Σημειώστε ότι τα αντιβαρυόνια έχουν βαρυονικό αριθμό αντίθετο από αυτόν του αντίστοιχου βαρυονίου. Το ανάλογο ισχύει και για τα αντιλεπτόνια κάθε οικογένειας).

Εκτός από τους νόμους διατήρησης βαρυονικού και λεπτονικών αριθμών υπάρχουν και κάποιοι επιπλέον νόμοι διατήρησης, που αφορούν μόνο τις ισχυρές αλληλεπιδράσεις. Αυτοί είναι η διατήρηση της παραδοξότητας, της χάρης και της ομορφιάς.

Έτσι, για την ερμηνεία των αλληλεπιδράσεων στις οποίες εμπλέκονται τα quarks, χρειάζεται να εισαχθούν τρεις νέοι κβαντικοί αριθμοί, η παραδοξότητα, η ομορφιά και η αλήθεια, και τρεις αντίστοιχοι νόμοι διατήρησης (μόνο για τις ισχυρές αλληλεπιδράσεις). Στον επόμενο πίνακα 2.8 παρουσιάζονται τα quarks και οι κβαντικοί αριθμοί τους. Η μάζα τους κυμαίνεται από 360 MeV (u και d) ως ~100 GeV (t).

Πίνακας 2.8: Τα quarks

quark	φορτίο (q/e)	spin (s)	Βαρυονικός αριθμός	παραδοξότητα (S)	χάρη (C)	ομορφιά	αλήθεια
u	2/3	1/2	1/3	0	0	0	0
d	-1/3	1/2	1/3	0	0	0	0
s	-1/3	1/2	1/3	-1	0	0	0
c	2/3	1/2	1/3	0	1	0	0
b	-1/3	1/2	1/3	0	0	1	0
t	2/3	1/2	1/3	0	0	0	1

Για κάθε quark υπάρχει και το σχετικό antiquark.

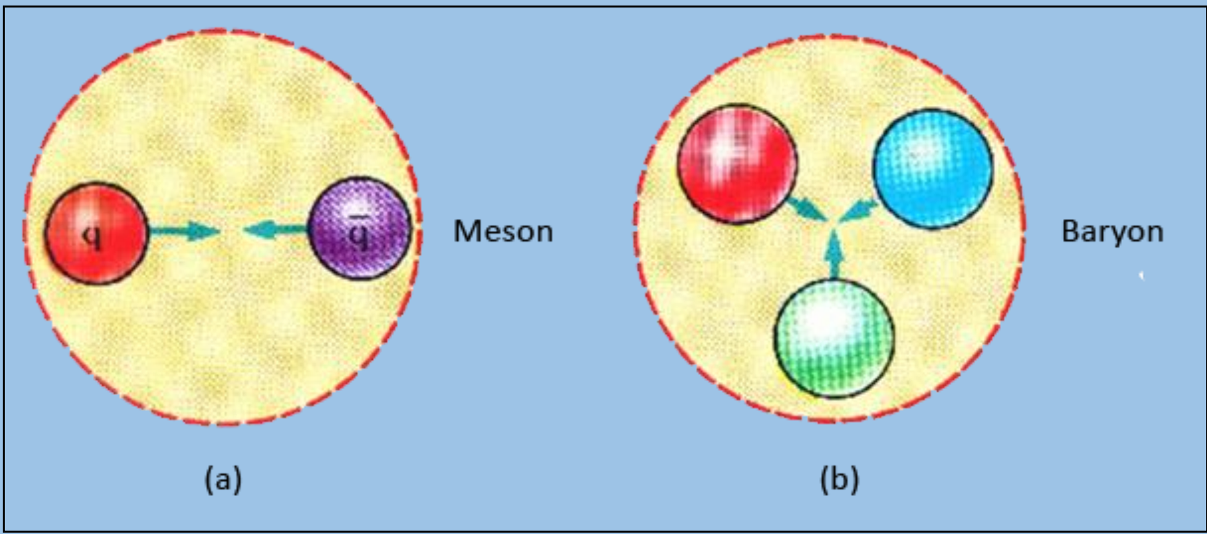
Τα βαρυόνια όπως είδαμε αποτελούνται από τρία quarks (--> βαρυονικός αριθμός 1), ενώ τα μεσόνια από ένα quark και ένα antiquark (--> βαρυονικός αριθμός 0).

Τα συνήθη αδρόνια απότελούνται μόνο από τα quarks u και d (p=uud, n=udd).

Το s quark απαντά σε μία κατηγορία ασταθών σωματιδίων, γνωστά ως παράδοξα σωματίδια, τα οποία ενώ παράγονται μέσω ισχυρής αλληλεπίδρασης διασπώνται μέσω ασθενούς.

Εκτός από το φορτίο, υπάρχει και μια άλλη ιδιότητα/κατάσταση των quarks, η οποία λέγεται χρώμα. Τα quarks μπορούν να υπάρξουν σε τρία χρώματα: κόκκινο, πράσινο και μπλε (τα antiquarks θα έχουν τα χρώματα αντικόκκινο, αντιπράσινο και αντιμπλέ). Η ιδιότητα αυτή του χρώματος είναι υπεύθυνη για την ισχυρή δύναμη μεταξύ των quarks (με τον ίδιο τρόπο που το φορτίο είναι υπεύθυνο για την ηλεκτρομαγνητική δύναμη μεταξύ σωματιδίων). Η ισχυρή δύναμη μεταξύ quarks λέγεται και δύναμη χρώματος και οι φορείς της λέγονται γλοιόνια. Τα quarks, κατά την αλληλεπίδρασή τους ανταλλάσσουν γλοιόνια και μέσω αυτής της ανταλλαγής αλλάζουν το χρώμα τους (τα γλοιόνια φέρουν επίσης χρώμα). Η θεωρία που περιγράφει τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των quarks λέγεται Κβαντική Χρωμοδυναμική.

Είπαμε και πιο πριν, από ότι φαίνεται ως τώρα, στη φύση δεν μπορούν να υπάρξουν μεμονωμένα quarks. Υπάρχουν μόνο σε συνδυασμούς και μάλιστα μόνο σε συνδυασμούς οι οποίοι είναι άχρωμοι. Άχρωμο σωματίδιο μπορούμε να πάρουμε συνδυάζοντας είτε τρία quarks διαφορετικού χρώματος είτε ένα quark ενός χρώματος με ένα antiquark του ίδιου αντιχρώματος. Η πρώτη δυνατότητα, όπως μπορεί κανείς εύκολα να διαπιστώσει, οδηγεί σε βαρυόνιο και η δεύτερη σε μεσόνιο (βλ. Σχ. 2.9).



Σχήμα 2.9: Ο σχηματισμός ενός μεσονίου από συνδυασμό quark - antiquark (a), και ενός βαρυονίου από τρία quarks διαφορετικού χρώματος (b).

Στα στοιχειώδη σωματίδια ανήκει και μια άλλη κατηγορία σωματιδίων, τα σωματίδια φορείς, που είναι μποζόνια και είναι φορείς των δυνάμεων. Αυτά είναι το φωτόνιο, του οποίου η μάζα του ισούται με 0 και εξ ορισμού κινείται με την ταχύτητα του φωτός (ηλεκτρομαγνητική δύναμη), τα W^+, W^- και Z^0 μποζόνια (ασθενής αλληλεπίδραση), το γκλουόνιο (ισχυρή αλληλεπίδραση) και το υποθετικό βαρυτόνιο (βαρυτική δύναμη). Τα πιο πάνω στοιχειώδη σωμάτια που αναφέραμε τα οποία συνδέονται με τις τρεις αλληλεπιδράσεις, την ηλεκτρομαγνητική, την ασθενή και την ισχυρή, γνωστά μας από το Καθιερωμένο Πρότυπο[45], έχουν σπιν 1 (ανυσματικά μποζόνια). Το βαρυτόνιο, ένα τανυστικό μποζόνιο, με το οποίο εικάζεται ότι αλληλεπιδρά η βαρύτητα, υπολογίζεται να έχει σπιν 2.

---

45. Βλέπε σελ. 80 - 82

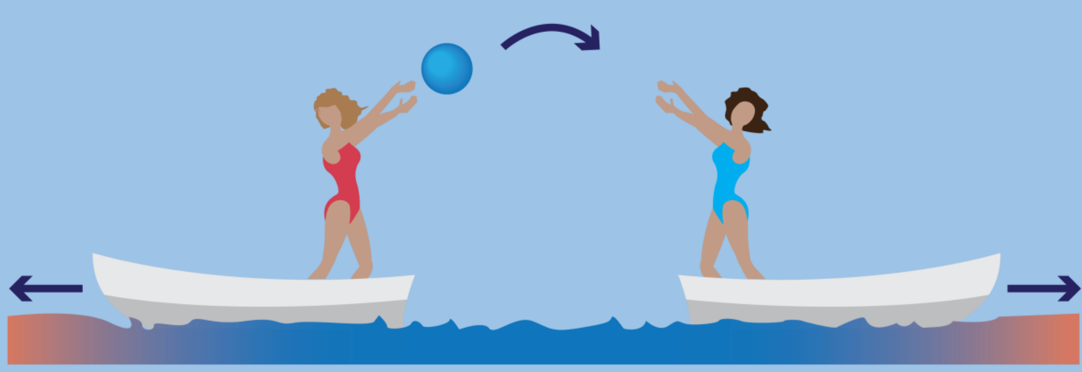
2.7.2 Οι τέσσερεις δυνάμεις

Το όλον της ύλης του Σύμπαντος, λοιπόν, αποτελείται από τα ίδια αρχέγονα συστατικά, τα σωματίδια δομής (κουάρκ και λεπτόνια), αλλά διέπεται και από τις **4 δυνάμεις** που εμφανίζονται στο σύμπαν: τη βαρυτική αλληλεπίδραση που δρα στον μακρόκοσμο (σε επίπεδο γαλαξιών, πλανητικών συστημάτων κ.τ.λ.), υπεύθυνη για την κίνηση των ουράνιων σωμάτων και η οποία τα συγκρατεί σε τροχιές γύρω από «αντικείμενα» με πολύ μεγαλύτερη μάζα, την ηλεκτρομαγνητική αλληλεπίδραση (με πηγή και αποδέκτη το ηλεκτρικό φορτίο), υπεύθυνη για το σχηματισμό ατόμων και μορίων, την ασθενή και την ισχυρή αλληλεπίδραση αντίστοιχα, που δρουν στον μικρόκοσμο (σε επίπεδο σωματιδίων). Η 1η είναι υπεύθυνη για την διάσπαση πυρήνων (ραδιενέργεια) και η 2η είναι υπεύθυνη για το σχηματισμό των πυρήνων (βλέπε πιν. 2.10).

Πίνακας 2.10

ΟΙ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΤΗΣ ΦΥΣΗΣ

ΕΙΔΟΣ	ΣΧΕΤΙΚΗ ΙΣΧΥΣ	ΣΥΝΔΕΤΙΚΟ ΣΩΜΑΤΙΔΙΟ (ΚΒΑΝΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ)	ΠΑΡΟΥΣΙΑ
ΙΣΧΥΡΗ ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ	~1	8 ΓΚΛΟΥΟΝΙΑ (ΑΜΑΖΑ)	ΑΤΟΜΙΚΟΥΣ ΠΥΡΗΝΕΣ
ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ	$\sim 10^{-3}$	ΦΩΤΟΝΙΟ (ΑΜΑΖΟ)	ΑΤΟΜΙΚΕΣ ΣΤΙΒΑΔΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΤΕΧΝΙΑ
ΑΣΘΕΝΗΣ ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ	$\sim 10^{-5}$	ΜΠΟΖΟΝΙΑ Z, W^{+}, W^{-} (ΒΑΡΙΑ)	ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΟ ΔΙΑΣΠΑΣΗ β
ΒΑΡΥΤΗΤΑ	$\sim 10^{-38}$	ΓΚΡΑΒΙΤΟΝΙΑ (;)	ΟΥΡΑΝΙΑ ΣΩΜΑΤΑ



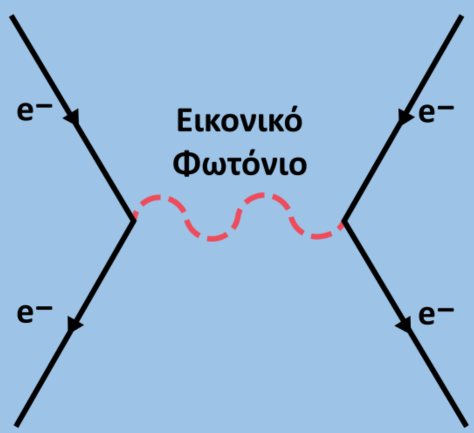
Η ΑΝΤΑΛΛΑΓΗ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΕΙΝΑΙ ΥΠΕΥΘΗΝΗ ΓΙΑ ΤΗ ΔΥΝΑΜΗ

CERN

Όλα τα σωματίδια στη φύση υπόκεινται στις τέσσερεις βασικές δυνάμεις, με την έννοια ότι όχι μόνο αλληλεπιδρούν μέσω αυτών, αλλά και παράγονται μέσω αυτών των δυνάμεων.

Στη Σύγχρονη Φυσική οι αλληλεπιδράσεις των σωματιδίων περιγράφονται ως ανταλλαγή ειδικών σωματιδίων πεδίου (ή κβάντων πεδίου), που λέγονται φορείς της δύναμης (κάτι ανάλογο με τον ομοιοπολικό δεσμό μεταξύ των ατόμων). Τα σωματίδια πεδίου μεταφέρουν ενέργεια και ορμή από το ένα αλληλεπιδρόν σωμάτιο στο άλλο.

Ένας τρόπος που συνήθως χρησιμοποιείται για να αναπαραστήσει τις αλληλεπιδράσεις σωματιδίων είναι τα διαγράμματα Feynmann. Ένα παράδειγμα παρουσιάζεται στο Σχ. 2.11.



Σχήμα 2.11: Διάγραμμα Feynmann που αναπαριστά την ηλεκτρομαγνητική αλληλεπίδραση δύο ηλεκτρονίων. Τα ηλεκτρόνια εισέρχονται στην περιοχή αλληλεπίδρασης, ανταλάσσουν φωτόνια και απομακρύνονται.

Σημείωση: Η δημιουργία των σωματιδίων - φορέων (εκ του μηδενός) είναι κάτι που παραβιάζει την αρχή διατήρησης της ενέργειας. Ο λόγος που είναι δυνατή αυτή η δημιουργία είναι ότι η αρχή της αβεβαιότητας χρόνου - ενέργειας επιτρέπει τέτοιες παραβιάσεις, με την προϋπόθεση ότι θα διαρκούν πολύ μικρό χρόνο, τ (ΔΕ τ=hbar).

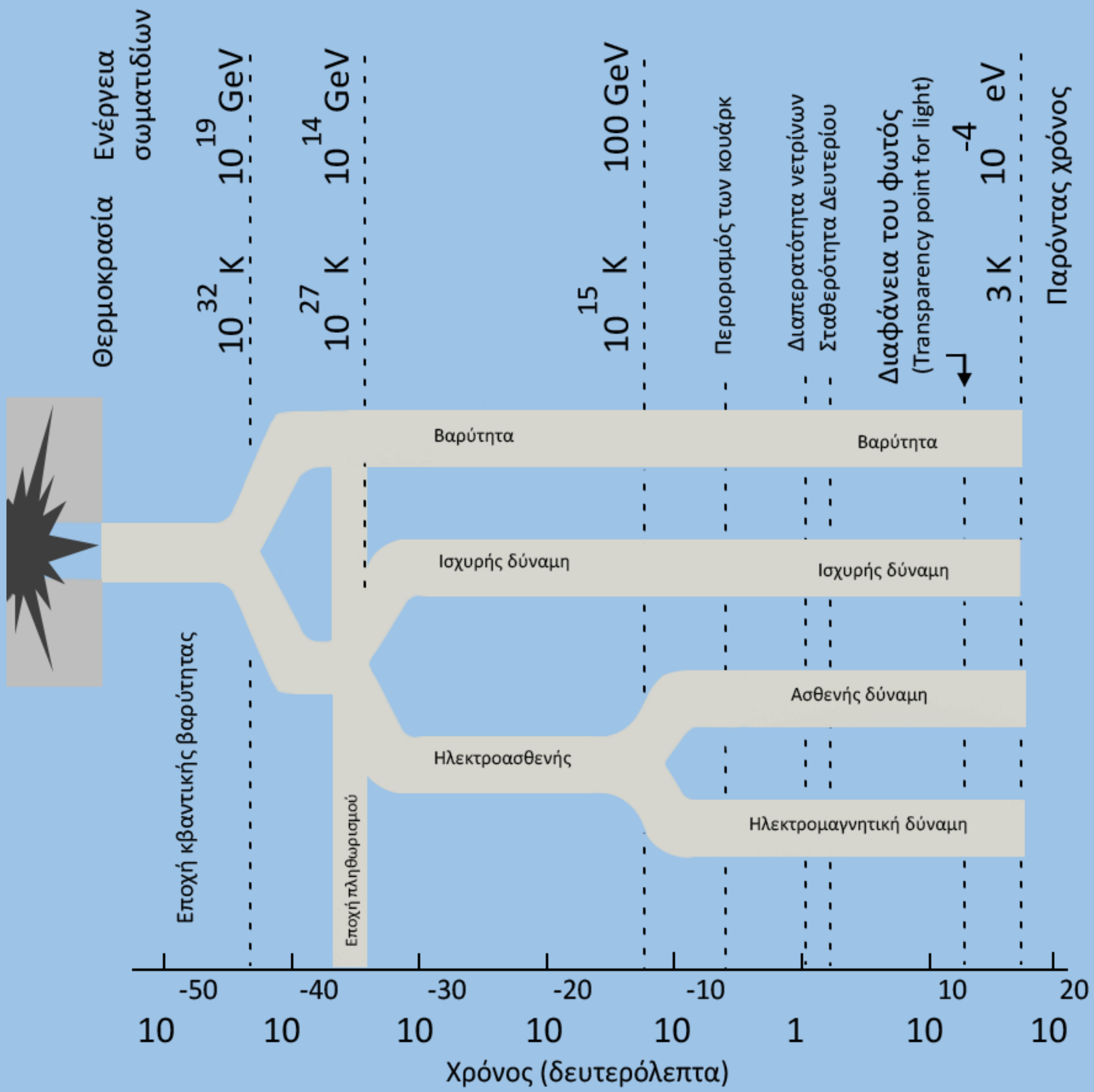
τ είναι ο χρόνος μεταξύ εκπομπής του σωματίου - φορέα από το ένα αλληλεπιδρόν σωμάτιο και απορρόφησής του από το άλλο.

Αξίζει να σημειωθεί ότι χωρίς την Ισχυρή Πυρηνική δύναμη που συγκροτεί τον ατομικό πυρήνα, καθιστώντας τον σταθερό, δεν θα υπήρχαν άλλα άτομα εκτός από του υδρογόνου. Χωρίς άνθρακα, χωρίς οξυγόνο χωρίς ζωή. Επίσης, η Ασθενής Πυρηνική δύναμη δημιουργεί τις πυρηνικές αντιδράσεις που επιτρέπουν στον ήλιο να λάμπει για δισεκατομμύρια χρόνια. Ως αποτέλεσμα, τρισεκατομμύρια νετρίνα έρχονται από τον ήλιο και περνούν μέσα από το σώμα μας κάθε δευτερόλεπτο, αλλά δεν τα νιώθουμε, γιατί η Ασθενής αλληλεπίδραση είναι πολύ αδύναμη[46].

Οι τέσσερεις δυνάμεις εμφανίστηκαν στα πρώτα κλάσματα του δευτερολέπτου μετά την Μεγάλη Έκρηξη. Θεωρείται ότι αποτελούσαν μια ενοποιημένη δύναμη, που διαφοροποιήθηκε επειδή το σύμπαν έγινε πιο ψυχρό. Στη Σύγχρονη Φυσική επικρατεί η αντίληψη ότι για κάποια τιμή ενέργειας οι 4 αλληλεπιδράσεις ενοποιούνται σε μία (Βλέπε σχ. 2.12).

---

46. Βλέπε άρθρο του Murayama, H. «*Το καθιερωμένο πρότυπο*». International Particle Physics Outreach Group (IPPOG), Μετάφραση: Άρης Χατζηχρήστος, http://www.physics.ntua.gr/POPPHYS/60/SM.html



Σχήμα 2.12: Ο διαχωρισμός των 4 δυνάμεων της Φύσης μετά την Μεγάλη Έκρηξη

<u>Σημείωση</u>: Η ηλεκτρομαγνητική και η ασθενής αλληλεπίδραση ενοποιούνται σε μία που ονομάζεται ηλεκτρασθενής.

Κατά το αυθόρμητο σπάσιμο της συμμετρίας αυτής οι Θεωρητικοί Φυσικοί θεωρούν ότι προκύπτει ένα πεδίο[47], το πεδίο Higgs[48], το οποίο καταλαμβάνει όλο το χώρο στο σύμπαν και μεταβάλλει την ενέργεια κενού. Τα σωματίδια που βρίσκονται σε αυτό πρέπει να επιβραδύνονται και να αποκτούν μάζα, καθώς αλληλεπιδρούν με το πεδίο Higgs.

Ως φορέας του πεδίου αυτού (βαθμωτός διαδότης[49]) θεωρείται το μποζόνιο Higgs, το οποίο είναι απαραίτητο για να συμπληρωθεί η θεωρία του Καθιερωμένου Προτύπου. Έχει σπιν 0, είναι αφόρτιστο και η μάζα του υπολογίζεται μεταξύ 115 και 150 Gev/c^2.

---

47. Πεδίο (φυσική), η παρουσία μιας ποσότητας (συχνά δύναμης) σε κάθε σημείο του χώρου.

48. Σήμερα πιστεύεται ότι ο μηχανισμός βάσει του οποίου αποκτούν μάζα τα σωματίδια της ύλης προαπαιτεί την ύπαρξη ενός πεδίου - του πεδίου Higgs – το οποίο γίνεται αισθητό παντού ακόμα και στο κενό. Το πεδίο αυτό είναι υπεύθυνο για τη δημιουργία της μάζας των σωματιδίων μέσω της αλληλεπίδρασης του με αυτά. Η αλληλεπίδραση ενός σωματιδίου και του πεδίου Higgs προσφέρει ένα πλεόνασμα δυναμικής ενέργειας Higgs E στο σωματίδιο και αυτό αντιστοιχεί στην μάζα του σωματιδίου (με τη βοήθεια της εξίσωσης $E=mc^2$).

Οι διαφορετικές μάζες των σωματιδίων εξηγούνται αν δεχθούμε ότι αυτά αλληλεπιδρούν με το πεδίο Higgs με διαφορετική ισχύ.

Η ύπαρξη του πεδίου Higgs προϋποθέτει και την ύπαρξη του σωματιδίου Higgs – του φορέα του πεδίου αυτού. Η ανακάλυψη του σωματιδίου αυτού θα επαληθεύσει την ύπαρξη του πεδίου Higgs και τη θεωρία των φυσικών για την προέλευση της μάζας.

Το σωματίδιο Higgs αποκτά και αυτό τη μάζα του μέσω της διαδικασίας της αυτό-αλληλεπίδρασης του πεδίου Higgs (βλέπε άρθρο «*Μποζόνιο Higgs: Το σωματίδιο του Θεού*». Physics4u, Φεβρουάριος 2008, http://www.physics4u.gr/articles/2008/Higgs.html).

Σημείωση: Πειραματική επιβεβαίωση ενός σωματιδίου με μάζα 125 GeV που εικάζεται ότι είναι το σωματίδιο φορέας του πεδίου Higgs (¨God particle¨) έγινε στις 4/7/2012, μέσω του (LHC) του CERN.

49. Στη Φυσική βαθμωτό ή μονόμετρο μέγεθος ονομάζεται μία φυσική ποσότητα η οποία περιγράφεται πλήρως αναφέροντας έναν και μόνο αριθμό, δηλαδή το μέτρο του μεγέθους της, αντιδιαστελλόμενο του διανυσματικού μεγέθους που για να περιγραφεί απαιτεί μέτρο και διάνυσμα, όπως π.χ. η δύναμη.

2.7.3 Το Καθιερωμένο Πρότυπο (Standard Model)

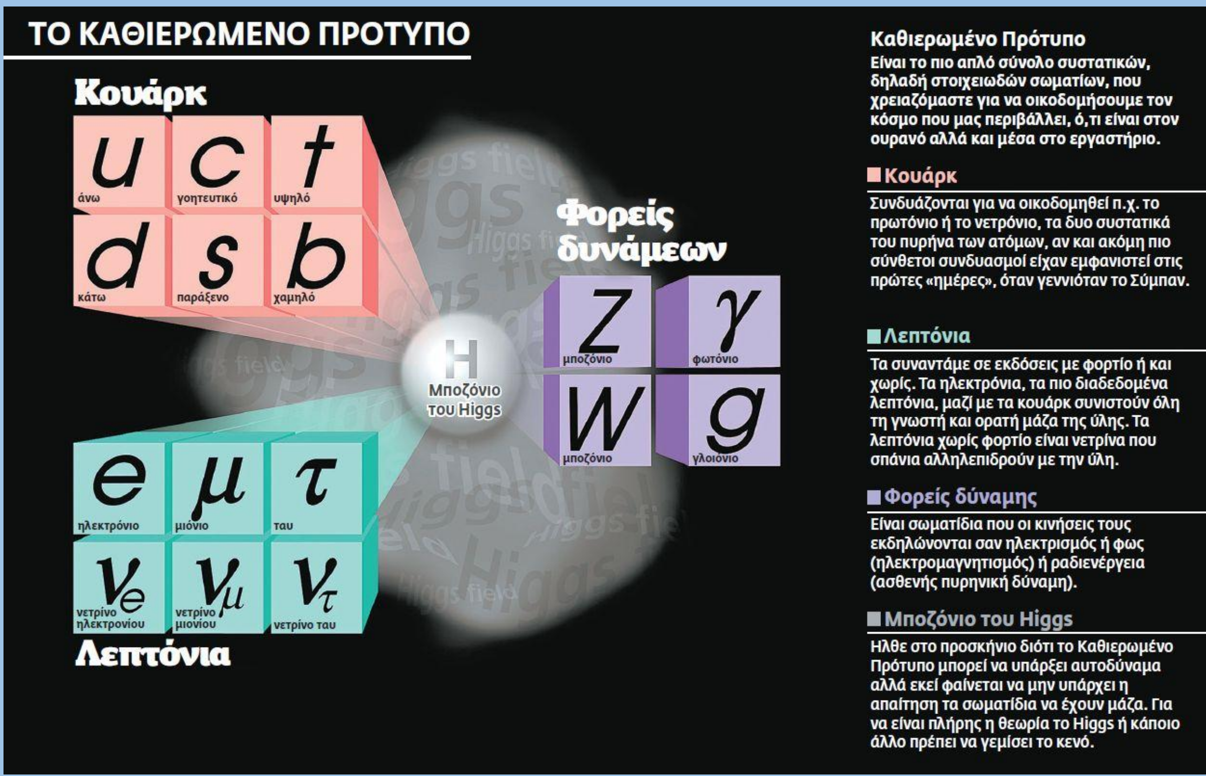
Το Καθιερωμένο Πρότυπο είναι μια φυσική θεωρία που περιγράφει τα βασικά συστατικά της ύλης του Σύμπαντος (τα κουάρκ και τα λεπτόνια) και τις μεταξύ τους ισχυρές, ασθενείς και ηλεκτρομαγνητικές αλληλεπιδράσεις (δεν περιλαμβάνει καμία περιγραφή των βαρυτικών αλληλεπιδράσεων), βλέπε εικ. 2.13. Περιγράφει τον τρόπο με τον οποίο συμπεριφέρονται τα πάντα στον υποατομικό κόσμο. Βασικά πρόκειται για ένα κατάλογο με όλα τα στοιχειώδη σωματίδια και ένα σύνολο κανόνων για το πώς αλληλεπιδρούν: Τα σωματίδια αλληλεπιδρούν, ανταλλάσοντας σωματίδια, για παράδειγμα ένα ηλεκτρόνιο ασκεί δύναμη σε ένα άλλο εκπέμποντας ένα φωτόνιο, προς το άλλο ηλεκτρόνιο, το δεύτερο προσλαμβάνει το φωτόνιο και ανταποδίδει. Το ανθρωπομορφικό σχήμα που προτιμάται είναι ότι τα σωματίδια αλληλεπιδρούν μέσω δυνάμεων, χρησιμοποιώντας σωματίδια - μεσολαβητές, όπως τα φωτόνια. Ιδού πως φανταζόμαστε αυτή τη διαδικασία.



Όπως μπορείτε να δείτε πιο πάνω, τα δυο ηλεκτρόνια «επικοινωνούν», ανταλλάζοντας το φωτόνιο (που εδώ μοιάζει με μπάλα της καλαθόσφαιρας). Με αυτές τις βολές το ένα ηλεκτρόνιο απομακρύνεται από το άλλο, γεγονός που συμφωνεί με όσα παρατηρούμε - τα αρνητικά φορτισμένα ηλεκτρόνια απωθούνται αμοιβαία. Με άλλα σωματίδια το αποτέλεσμα μπορεί να είναι έλξη και όχι άπωση, η αρχή όμως παραμένει η ίδια. Αυτό είναι το ουσιώδες σημείο που χρειάζεται για να καταλάβουμε τα υπόλοιπα: μια δύναμη – οποιαδήποτε δύναμη - προκαλείται όταν ένα αντικείμενο εκπέμψει ένα αντικείμενο προς ένα άλλο αντικείμενο (όσο περισσότερα σωματίδια εκπέμπονται και προσλαμβάνονται, τόσο ισχυρότερη είναι η δύναμη που ασκείται μεταξύ τους).

Το καθιερωμένο πρότυπο λοιπόν εξηγεί τις αλληλεπιδράσεις με ανταλλαγή σωματιδίων πεδίου π.χ. η βαρύτητα προκαλείται από την εκτόξευση «βαρυτονίων» μεταξύ των υλικών σωμάτων. Αυτά τα υποθετικά σωματίδια, βάσει της θεωρίας, θα πρέπει να προκαλούν την αμοιβαία έλξη μεταξύ των σωμάτων.

Εικόνα 2.13


ΤΟ ΚΑΘΙΕΡΩΜΕΝΟ ΠΡΟΤΥΠΟ
Κουάρκ
u άνω
c γοητευτικό
t υψηλό
d κάτω
s παράξενο
b χαμηλό
Φορείς δυνάμεων
Z μποζόνιο
γ φωτόνιο
W μποζόνιο
g γλοιόνιο
H Μποζόνιο του Higgs
e ηλεκτρόνιο
μ μιόνιο
τ ταυ
νe νετρίνο ηλεκτρονίου
νμ νετρίνο μιονίου
ντ νετρίνο ταυ
Λεπτόνια
Καθιερωμένο Πρότυπο
Είναι το πιο απλό σύνολο συστατικών, δηλαδή στοιχειωδών σωματίων, που χρειαζόμαστε για να οικοδομήσουμε τον κόσμο που μας περιβάλλει, ό,τι είναι στον ουρανό αλλά και μέσα στο εργαστήριο.
Κουάρκ
Συνδυάζονται για να οικοδομηθεί π.χ. το πρωτόνιο ή το νετρόνιο, τα δυο συστατικά του πυρήνα των ατόμων, αν και ακόμη πιο σύνθετοι συνδυασμοί είχαν εμφανιστεί στις πρώτες «ημέρες», όταν γεννιόταν το Σύμπαν.
Λεπτόνια
Τα συναντάμε σε εκδόσεις με φορτίο ή και χωρίς. Τα ηλεκτρόνια, τα πιο διαδεδομένα λεπτόνια, μαζί με τα κουάρκ συνιστούν όλη τη γνωστή και ορατή μάζα της ύλης. Τα λεπτόνια χωρίς φορτίο είναι νετρίνα που σπάνια αλληλεπιδρούν με την ύλη.
Φορείς δύναμης
Είναι σωματίδια που οι κινήσεις τους εκδηλώνονται σαν ηλεκτρισμός ή φως (ηλεκτρομαγνητισμός) ή ραδιενέργεια (ασθενής πυρηνική δύναμη).
Μποζόνιο του Higgs
Ηλθε στο προσκήνιο διότι το Καθιερωμένο Πρότυπο μπορεί να υπάρξει αυτοδύναμα αλλά εκεί φαίνεται να μην υπάρχει η απαίτηση τα σωματίδια να έχουν μάζα. Για να είναι πλήρης η θεωρία το Higgs ή κάποιο άλλο πρέπει να γεμίσει το κενό.

Παρόλη την απίστευτη επιτυχία του, το Καθιερωμένο Πρότυπο έχει σοβαρές ελλείψεις:

Για παράδειγμα, αν τα μόνα συστατικά του σύμπαντος είναι οι δυνάμεις και τα σωματίδια, τότε όλα τα σωματίδια θα πρέπει να ταξιδεύουν με την ταχύτητα του φωτός (μια από τις φυσικές σταθερές που προέκυψε από τη Μεγάλη Έκρηξη), αντίθετα με ό,τι παρατηρείται. Για να τα επιβραδύνουν, οι θεωρητικοί φυσικοί υποθέτουν την ύπαρξη ενός μυστηριώδους, πανταχού παρόντος και άγνωστου, έως πρόσφατα «υγρού», του πεδίου Higgs. Μένει να αποδειχτεί η ύπαρξη του πεδίου Higgs μέσω της πειραματικής επαλήθευσης του σωματιδίου φορέα του.

Επίσης, οι φυσικοί τώρα αντιλαμβάνονται ότι το 96% του σύμπαντος δεν είναι φτιαγμένο από την συνηθισμένη ύλη και επομένως αυτή η νέα μορφή ύλης δε χωράει στο Καθιερωμένο Πρότυπο. Πώς θα αναβαθμιστεί το Καθιερωμένο Πρότυπο, για να απαντήσει σε αυτό το μυστήριο, είναι ένα ανοικτό πρόβλημα, που αναμένεται να απαντηθεί από σύγχρονα και μελλοντικά πειράματα.

Ακόμη η ανακάλυψη ότι τα νετρίνα έχουν μάζα είχε τεράστιο αντίκτυπο στην σωματιδιακή φυσική, καθώς στο Καθιερωμένο Πρότυπο τα νετρίνα δεν έχουν μάζα.

2.7.4 Τα ταχυόνια

Η θεωρία πως στον εκτός κώνων φωτός χώρο, επικρατούν ταχύτητες μεγαλύτερες του φωτός[50], δημιούργησε την ιδέα ύπαρξης υποθετικών υποατομικών σωματιδίων, των ταχυονίων, τα οποία πιστεύεται ότι έχουν την ιδιότητα να κινούνται εκτός χωροχρόνου, του συνεκτικού ιστού του Σύμπαντος, με ταχύτητες μεγαλύτερες του φωτός[51].

Την επαναστατική αυτή θεωρία διατύπωσε ο Αμερικανός φυσικός Τζέραλντ Φάινμπεργκ (Gerald Feinberg) καθηγητής στο πανεπιστήμιο Columbia το 1968. Σύμφωνα με τη θεωρία αυτή, το φράγμα της ταχύτητας του φωτός πραγματικά είναι ένας αδιαφανής αδιαπέραστος «τοίχος». Πέρα όμως από τον «τοίχο» αυτόν υπάρχει μια άλλη πλευρά, ένας άλλος κόσμος σωματιδίων, που μπορούν να μετακινούνται ταχύτερα από το φως. Ο Φάινμπεργκ ονόμασε τα σωματίδια αυτά ταχυόνια από το ελληνικό επίθετο ταχύς.

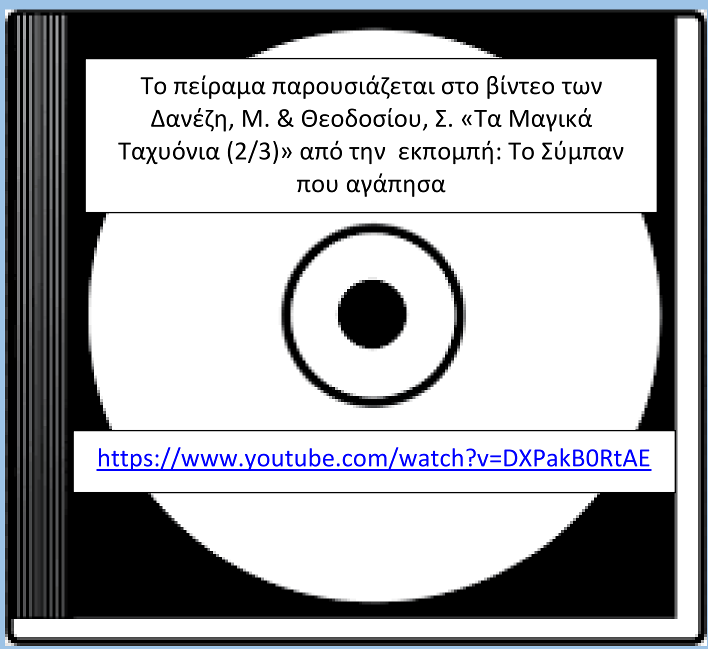
Φαίνεται πως οι ιδιότητες του σωματιδίου αυτού έρχονται σε αντίθεση με ότι ξέραμε μέχρι τώρα, και παραβαίνουν το νόμο της ειδικής σχετικότητας του Einstein. Βάσει όμως της θεωρίας μιας ομάδας φυσικών τη δεκαετία του '60, το όριο της ταχύτητας του Αϊνστάιν δεν ισχύει για σωματίδια που ήδη κινούνταν γρηγορότερα από το φώς. Παρ' όλα αυτά, μπορεί τυπικά να μην απαγορεύονται από τις εξισώσεις της ειδικής σχετικότητας και εξακολουθούν να υπακούουν στους μετασχηματισμούς του Lorentz.

Ο κόσμος τους είναι πολύ παράξενος. Αντίθετα με την κοινή λογική, ένα ταχυόνιο κερδίζει ταχύτητα όταν χάνει ενέργεια ή όταν κερδίζει ενέργεια χάνει ταχύτητα, δηλαδή η ταχύτητα των σωματιδίων αυτών είναι αντιστρόφως ανάλογη με την ενέργεια που εμπεριέχεται σε αυτά. Έτσι, ένα ταχυόνιο με μηδενική ενέργεια θα έχει άπειρη ταχύτητα. Δηλαδή θεωρητικά, ταχυόνιο με μηδενική ενέργεια μπορεί να φτάσει στον προορισμό του πριν καν ξεκινήσει...!!! Στην πραγματικότητα θα απαιτούσε άπειρη ενέργεια για να έχει ταχύτητα ίση με την ταχύτητα του φωτός, και έτσι του είναι αδύνατον να ταξιδέψει με την ταχύτητα του φωτός. Αποτελεί η ταχύτητα του φωτός ένα κάτω όριο για το ταχυόνιο. Είναι σαν να ζουν σε ένα καθρέφτη του κόσμου που εκτρέπεται από αυτό το αόρατο εμπόδιο.

---

50. Βλέπε σελ. 84, 135 - 136

51. Την απάντηση θα την βρούμε ενδεχομένως στο κβαντικό πείραμα των συσχετισμένων φωτονίων.
Στο πείραμα αυτό, το οποίο διεξήχθη στην Ελβετία, φωτόνια που είχαν αλληλεπιδράσει μεταξύ τους στο παρελθόν, εκτοξεύτηκαν το καθένα προς τα δύο αντίθετα άκρα μιας οπτικής ίνας μήκους 10.6 χιλιομέτρων.
Μόλις το πρώτο φωτόνιο έφτασε στο τέρμα της διαδρομής, ανιχνεύτηκε από τους επιστήμονες και μετέβαλε την κατάστασή του. Το δεύτερο συσχετισμένο φωτόνιο όμως, (το οποίο ακόμα ταξίδευε στην οπτική ίνα), μετέβαλε και αυτό την κατάστασή του ανάλογα όπως το πρώτο, παρόλο που δεν είχε ανιχνευθεί!!!
Έτσι οι ερευνητές γνώριζαν ότι η κβαντική επικοινωνία έλαβε χώρα σχεδόν ταυτόχρονα μεταξύ των συσχετισμένων φωτονίων. Έπειτα από μετρήσεις, η ταχύτητα με την οποία επικοινώνησαν τα δύο σωμάτια μετρήθηκε στα 450.000.000 km/sec!!!
Φανταστείτε λοιπόν: αν ποτέ ο άνθρωπος καταφέρει να χρησιμοποιήσει τις ταχύτητες αυτές, μπορεί το ταξίδι από το ηλιακό μας σύστημα στο κοντινότερο αστέρι να είναι η προσφορά του ταξιδιωτικού γραφείου της περιοχής σας για διήμερη εκδρομή…
Τί μεσολάβησε όμως και τα δύο αυτά συσχετισμένα φωτόνια κατάφεραν να επικοινωνήσουν μεταξύ τους, παρόλο που δεν βρίσκονταν κοντά το ένα στο άλλο;
Εδώ «μπαίνει» η θεωρητική ύπαρξη των ταχυονίων… (βλέπε άρθρο του Δανέζη, Μ. «*Το υπέροχο Σύμπαν του μέλλοντος μας*». Τμήμα Φυσικής Πανεπιστημίου Αθηνών, https://manosdanezis.gr/wp-content/uploads/2017/08/13.pdf).



Πώς όμως μπορούμε να ανιχνεύσουμε αυτά τα παράξενα σωματίδια; Ακόμα και αν ζουν στις αντίθετες πλευρές του καθρέφτη, θα μπορούσαμε να δούμε στοιχεία των ταχυονίων άμεσα, εάν βέβαια υπάρχουν. Καθώς αυτά κλείνονται μέσα στο κενό του διαστήματος, θα παρήγαγαν ένα κώνο φωτός, τη γνωστή ακτινοβολία Cerenkov[52]. Αλλά μέχρι σήμερα, αυτός ο κώνος δεν έχει φανεί ποτέ, και έτσι τα ταχυόνια παραμένουν μια δυνητική υπόθεση. Αυτό σημαίνει ότι μάλλον κανένα από αυτά δεν έχει φορτίο.

Πραγματικά ή όχι, τα ταχυόνια φέρνουν σε δύσκολη θέση τους επιστήμονες, επειδή παραβιάζουν τους κανόνες του αιτίου και του αιτιατού. Από τη δική μας προοπτική, αυτά τα σωματίδια, που κινούνται πιο γρήγορα από το φως, εμφανίζονται να κινούνται προς τα πίσω στον χρόνο[53].

Στο ταχυόνιο μπορούν να οριστούν οι ιδιότητες της κανονικής ύλης, όπως είναι το σπιν, καθώς επίσης και να αντιστοιχηθεί ένα αντισωμάτιο (το αντιταχυόνιο). Ακόμη, οι σύγχρονες απόψεις της θεωρίας των ταχυονίων, επιτρέπουν στα ταχυόνια να έχουν πραγματική μάζα.

Εκτός του ότι ο κώνος φωτός (ακτινοβολία Cerenkov) δεν έχει φανεί ποτέ, υπάρχουν και κάποιοι άλλοι λόγοι που μας κάνουν σκεπτικούς για την ύπαρξή τους, μερικοί από τους οποίους είναι:

α. Αν υπάρχουν, μπορούν να έχουν απεριόριστα μεγάλες ταχύτητες. Συνεπώς, θα μπορούσαμε μ’ αυτά να συγχρονίσουμε ρολόγια σε κάποιο σύστημα αναφοράς. Το σύστημα αυτό θα ήταν τότε ένα προνομιακό σύστημα αναφοράς, πράγμα που αντιβαίνει στην κεντρική ιδέα της σχετικότητας.

β. Σύμφωνα με τη σχέση της ενέργειας - ταχύτητας, αν δεχτούμε ότι έχουν πραγματική ενέργεια, τότε αφού η ταχύτητά τους $υ > c$, πρέπει να έχουν φανταστική μάζα ηρεμίας. Αν πάλι θέλουμε να έχουν πραγματική μάζα ηρεμίας, θα πρέπει η ενέργειά τους να είναι φανταστική.

γ. Δεν απαιτείται να αποδώσουμε μάζα ηρεμίας για τα σωματίδια αυτά, αφού δεν μπορούν να υπάρξουν σε ταχύτητες μικρότερες από την ταχύτητα του φωτός. Και τέλος τα ταχυόνια δεν οφείλουν την ταχύτητά τους σε μια επιτάχυνση που τα επιταχύνει από την ηρεμία.

Έχει προταθεί πως το ταχυόνιο παράγεται στις κοσμικές ακτίνες, και πως ακόμη θα μπορούσαν να αποτελούν τη μυστήρια σκοτεινή ύλη. Επίσης, παίζουν ένα ρόλο στη θεωρία χορδών, η οποία τα έχει φέρει πάλι στο προσκήνιο. Ο Murray Gell Mann, βραβευμένος με Νόμπελ Φυσικής το 1969 για την εργασία του πάνω στα στοιχειώδη σωμάτια, κάποτε είπε ότι στη Φυσική, «όλα όσα δεν είναι απαγορευμένα είναι επιτακτικά».

52. Η ακτινοβολία Cherenkov εμφανίζεται όταν ένα φορτισμένο σωματίδιο κινείται μέσα στην ύλη πιο γρήγορα από το φως.
Το ερώτημα που προκύπτει είναι πώς ένα σωματίδιο μπορεί να κινείται πιο γρήγορα από το φως, χωρίς να παραβιάζει τους νόμους της φυσικής; Η ταχύτητα του φωτός στο κενό είναι το υπέρτατο όριο ταχύτητας: 300,000,000 μέτρα το δευτερόλεπτο. Με βάση τους νόμους της φύσης, τίποτα δεν μπορεί να ταξιδέψει πιο γρήγορα.
Εντούτοις, όταν το φως περνά από νερό, γυαλί και άλλα διαφανή υλικά μειώνει ταχύτητα, σε κάποιες περιπτώσεις περισσότερο από 25 τοις εκατό. Επομένως, ένα σωματίδιο είναι δυνατόν να περάσει μέσα από ένα υλικό πιο γρήγορα από το φως, ενώ την ίδια στιγμή να έχει μικρότερη ταχύτητα από την ταχύτητα του φωτός στο κενό.
Στην περίπτωση που συμβαίνει αυτό, το σωματίδιο εκπέμπει ιώδη ακτινοβολία Cherenkov, η οποία διαχέεται πίσω του σε ένα κοίλο κώνο με μορφή παραπλήσια του κώνου ενός ακουστικού κρότου, απότομης ηχητικής μεταβολής (βλέπε άρθρο του D'Agostino, M. «*Ακτινοβολια Cherenkov*». University of California Berkeley, International Particle Physics Outreach Group (IPPOG), Μετάφραση: Άρης Χατζηχρήστος, http://www.physics.ntua.gr/POPPHYS/60/cherenkov.html).

53. Βλέπε σελ. 283

2.8 Το μέλλον του Σύμπαντος

Από τη μελέτη της κοσμικής ιστορίας, σύμφωνα με το μοντέλο της μεγάλης έκρηξης, προέκυψε ένα σημαντικό συμπέρασμα, ότι ο βασικός δυναμικός παράγοντας της εξέλιξης και μεταβολής των καταστάσεων του Σύμπαντος είναι η διαστολή του. Έτσι και οι μελλοντικές καταστάσεις του προδιαγράφονται αποφασιστικά από την τύχη της διαστολής του.

Γνωρίζουμε ότι το Σύμπαν εξακολουθεί να διαστέλλεται. Στην διαστολή του, ωστόσο, αντιτίθεται η βαρύτητα (λόγω αυτοέλξης των γαλαξιών) η οποία και την επιβραδύνει. Δεν είναι όμως δυνατό να βρεθεί με ακρίβεια ο ρυθμός της επιβράδυνσης, ο οποίος συνδέεται με την μέση πυκνότητα της ύλης στο Σύμπαν.

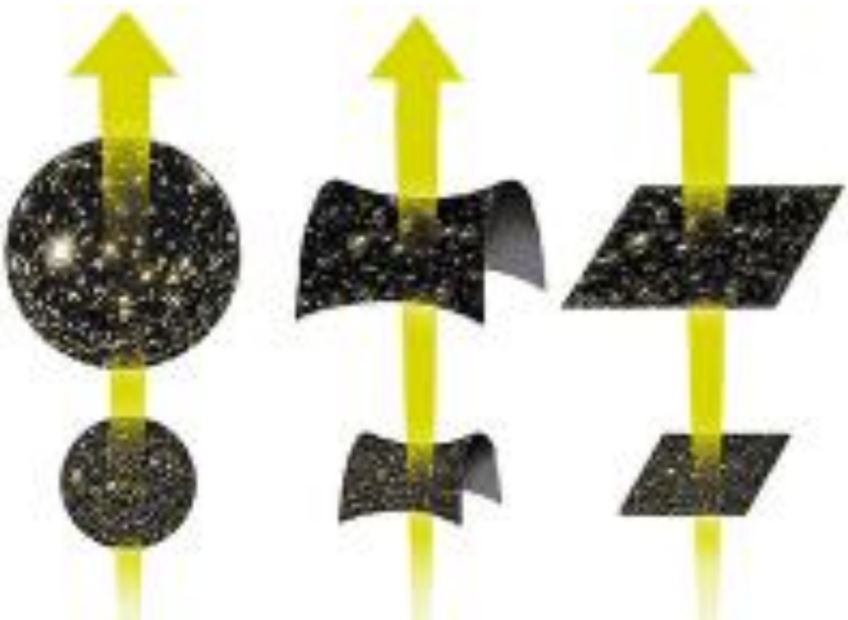


Έτσι υπάρχουν τρείς εκδοχές για το μέλλον του Σύμπαντος:

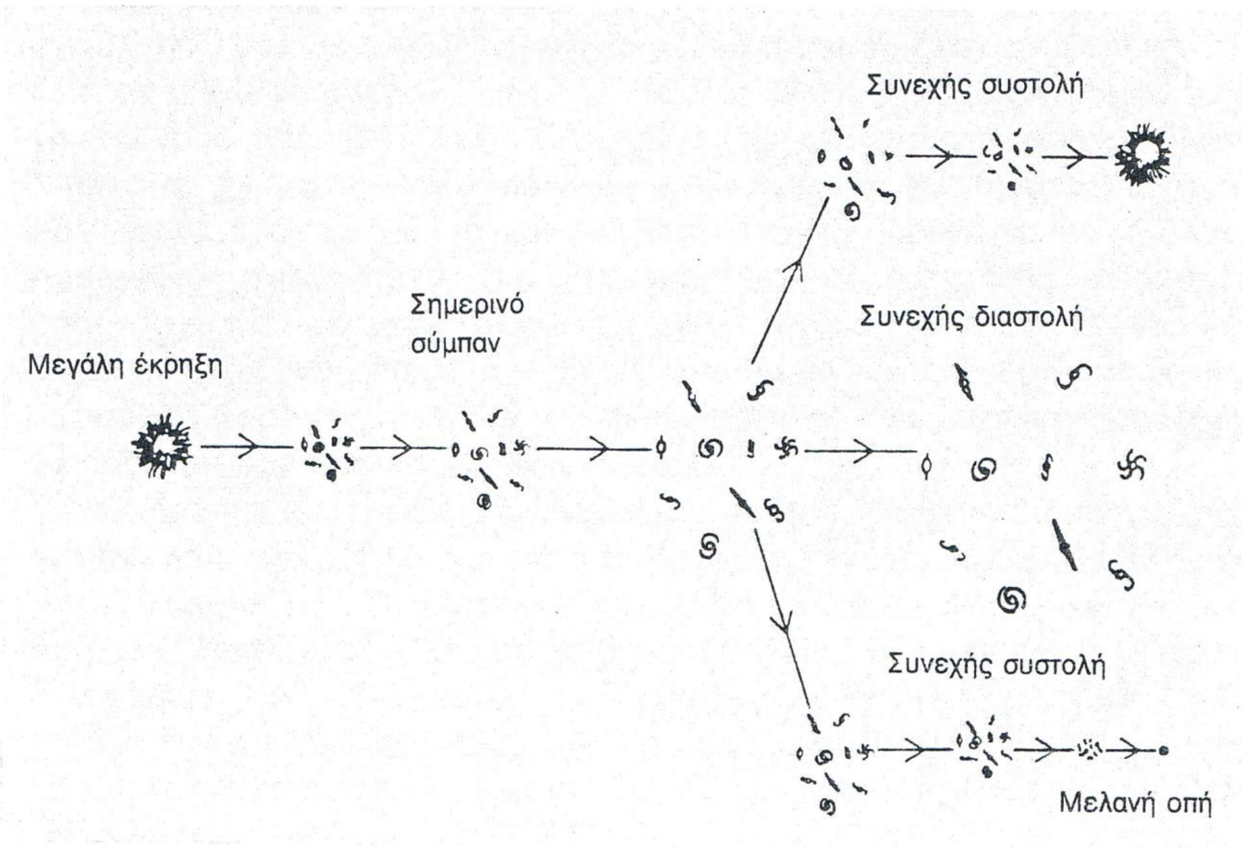
α. Η επιβράδυνση είναι αρκετά ισχυρή ώστε να σταματήσει κάποτε η διαστολή και να αρχίσει μία αντίστροφη πορεία (συστολή). Ένα τέτοιο Σύμπαν χαρακτηρίζεται ως **κλειστό** και είναι πεπερασμένο σε όγκο. Η κατάληξη θα είναι είτε η δημιουργία μιας μελανής οπής, είτε μία νέα μεγάλη έκρηξη και η επανάληψη του κύκλου αυτού επ΄ άπειρον˙ στην περίπτωση αυτή έχουμε ένα **παλλόμενο Σύμπαν.**

β. Η επιβράδυνση είναι λιγότερο ισχυρή ώστε να τείνει να σταματήσει οριακά η διαστολή σε άπειρο χρόνο. Ένα τέτοιο Σύμπαν χαρακτηρίζεται ως **επίπεδο** και είναι άπειρο σε όγκο.

γ. Η επιβράδυνση είναι αρκετά ασθενική ώστε να συνεχίζεται η διαστολή επ΄ άπειρον. Ένα τέτοιο Σύμπαν χαρακτηρίζεται ως **ανοιχτό** και είναι άπειρο σε όγκο (σχ. 2.14).



Ένας τρισδιάστατος χώρος όπως θεωρείται το Σύμπαν μας, μπορεί να είναι γεωμετρικά κλειστός, ανοικτός ή επίπεδος.



Σχήμα 2.14: Οι τρείς εκδοχές για το μέλλον του Σύμπαντος

Το ερώτημα λοιπόν που τίθεται είναι: Σε ποιο τύπο Σύμπαντος ζούμε;

Για να το μάθουμε πρέπει να προσδιορίσουμε την πυκνότητα της ύλης που περιέχει. Όλα τα πιθανά σενάρια απορρέουν από τη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας: Εάν η πυκνότητα της ύλης του Σύμπαντος είναι μεγαλύτερη από μια ορισμένη τιμή που καλείται **κρίσιμη πυκνότητα** (critical density), για την οποία η κινητική ενέργεια του Σύμπαντος είναι, σε κάθε χρονική στιγμή, αντίθετη της δυναμικής βαρυτικής ενέργειάς του, το Σύμπαν είναι κλειστό ($\Omega > 1$), αν είναι ίση το Σύμπαν είναι επίπεδο ($\Omega = 1$) και αν είναι μικρότερη το Σύμπαν είναι ανοιχτό ($\Omega < 1$).

Μεγαλύτερη πυκνότητα της ύλης του Σύμπαντος, δηλ. μεγαλύτερη ποσότητα μάζας σ' αυτό, θα επιβράδυνε την διαστολή του - λόγω της ελκτικής βαρυτικής δύναμης που ασκείται μεταξύ των υλικών σωμάτων - και πιθανόν να άρχιζε μια αντίστροφη πορεία (συστολή), αν αυτή ξεπερνούσε μια συγκεκριμένη τιμή που ονομάζεται **κρίσιμη πυκνότητα ($\rho_{κρ.}$)**.

Το πρόβλημα όμως προσδιορισμού της πυκνότητας ρ παραμένει ανοιχτό, γιατί μπορεί να υπάρχει μεγάλη ποσότητα μη ανιχνεύσιμης ύλης.

Τελικά η εξέλιξη του σύμπαντος είναι παρόμοια με τη μοίρα ενός σώματος που προσπαθεί να διαφύγει από κάποιο πεδίο βαρύτητας.

Η ταχύτητα διαφυγής από κάποιο πεδίο βαρύτητας, δίνεται από τη σχέση: $υ_δ = \sqrt{2GM/R}$ (όπου $υ_δ$ η ταχύτητα διαφυγής, G η παγκόσμια σταθερά της βαρύτητας, M η μάζα του σφαιρικού σώματος, το οποίο υποτίθεται σφαιρικά συμμετρικό, και R η ακτίνα του). Είναι αξιοσημείωτο ότι η ταχύτητα αυτή είναι ανεξάρτητη της μάζας του σώματος που χρειάζεται να αποκτήσει την παραπάνω ταχύτητα, ώστε να διαφύγει από τη βαρυτική έλξη ενός σφαιρικού σώματος, γεγονός το οποίο οφείλεται εξ΄ ολοκλήρου στην ιδιαίτερη φύση της βαρύτητας.

Από την αρχική εξίσωση η ταχύτητα διαφυγής $υ_δ = \sqrt{8 π G ρ R^2/3}$.

Αν λύσουμε την πιο πάνω σχέση ως προς την πυκνότητα παίρνουμε:

$ρ = 3υ^2{}_δ/8 π G R^2 = 3 (υ_δ/R)^2/ 8 π G = 3 \ H^2/ 8 π G ≡ ρc$

όπου θέσαμε $υ_δ/R = H$

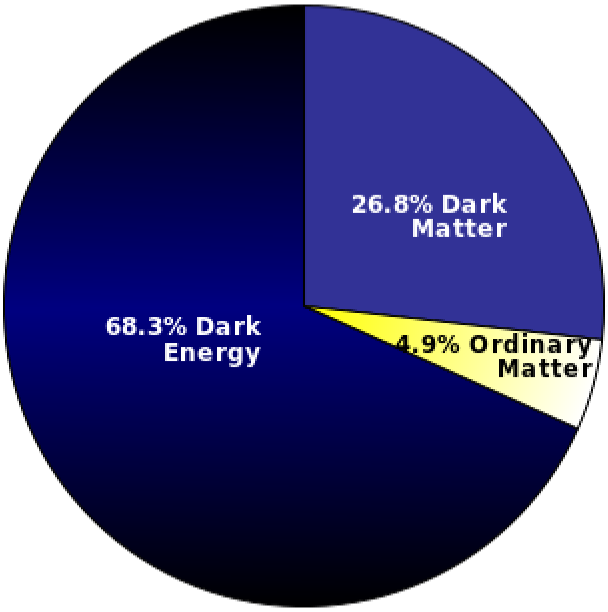
Αν στην παραπάνω εξίσωση θεωρήσουμε ότι H είναι η σταθερά του Hubble, τότε η πυκνότητα που παίρνουμε είναι η ΚΡΙΣΙΜΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ του σύμπαντος!

Η κρίσιμη τιμή της πυκνότητας του σύμπαντος $ρc = 5 \cdot 10^{-27}$ Kg/m^3, αν θεωρήσουμε ότι η σταθερά του Hubble είναι 75 Km/s/Mpc.

Όμως, το μέγεθος που χρησιμοποιούν οι κοσμολόγοι για την περιγραφή της εξέλιξης του σύμπαντος είναι η αδιάστατη **παράμετρος πυκνότητας Ω**, που ορίζεται από την εξίσωση:

$Ω = ρ/ρc$, όπου ρ η σημερινή πυκνότητα του σύμπαντος

Ωστόσο μόνο το 4% της συνολικής μάζας του Σύμπαντος μπορεί να γίνει άμεσα ορατό. Το υπόλοιπο αποτελείται από (α) σκοτεινή ύλη (≈26%), της οποίας η ύπαρξη προκύπτει από παρατηρούμενα βαρυτικά αποτελέσματα σε ορατή ουράνια ύλη και από (β) σκοτεινή ενέργεια (≈70%), ένα υποθετικό είδος ενέργειας που διατρέχει όλο το διάστημα και έχει δυνατή αρνητική πίεση[54] (το αποτέλεσμα μιας τέτοιας πίεσης είναι να εμφανίζεται μια δύναμη που δρα σε αντίθεση με την βαρύτητα σε μεγάλη κλίμακα).



54. Σύμφωνα με την ερευνητική αποστολή Planck και πάνω στη βάση του Καθιερωμένου Προτύπου (Standard Model of Cosmology), η συνολική υλοενέργεια (ύλη - ενέργεια) του σύμπαντος περιέχει 4,9% συνηθισμένη ύλη, 26,8% σκοτεινή ύλη και 68,3% σκοτεινή ενέργεια (βλέπε άρθρο «*Η σκοτεινή ενέργεια και η αναπάντεχη διαστολή του σύμπαντος*». Physics4u's Weblog, 24/01/2017, https://physics4u.wordpress.com/2017/01/24/%CE%B7-%CF%83%CE%BA%CE%BF%CF%84%CE%B5%CE%B9%CE%BD%CE%AE-).

(α) Σκοτεινή ύλη

Ως «σκοτείνη» θεωρείται η ύλη που συνίσταται από υποθετικά σωματίδια ύλης, άγνωστης σύνθεσης, τα οποία δεν εκλύουν ούτε αντανακλούν επαρκώς Ηλεκτρομαγνητική Ακτινοβολία, ώστε να μπορούν να γίνονται άμεσα ανιχνεύσιμα από τα γνωστά αστρονομικά όργανα παρατήρησης.

Πιθανή δομή της σκοτεινής ύλης

Τα τρία πιθανά συστατικά τα οποία απαρτίζουν τη σκοτεινή ύλη είναι:

1. Συνήθης Ύλη ("μη - εξωτική", δηλ. βαρυονικής φύσης)
2. Νετρινική Ύλη (Ύλη αποτελούμενη από νετρίνα)
3. Εξωτική Ύλη (Ύλη αποτελούμενη από υπερ-συμμετρικά σωματίδια)

Συνήθης Ύλη:

Αυτή διακρίνεται σε δύο κατηγορίες:

A. Αντικείμενα MACHO[55] (Massive Astrophysical Compact Halo Objects). Είναι κοσμικά σώματα που αποτελούνται από "συνήθη" (δηλ. βαρυονική) και όχι "εξωτική" ύλη, τα οποία υπάρχουν μεν στο Σύμπαν, αλλά δεν εκπέμπουν Ηλεκτρομαγνητική Ακτινοβολία.

Τέτοια αντικείμενα είναι:

- Πλανήτες (όπως είναι γνωστό δεν εκπέμπουν φως)
- Νεκροί αστέρες (που έχουν εξαντλήσει τα ενεργειακά αποθέματά τους)
- Μελανές οπές[56] (ή αλλιώς μαύρες τρύπες)

B. Νέφη μοριακού υδρογόνου στην εξωτερική περιοχή του γαλαξιακού δίσκου. Αυτή η υπόθεση ενισχύεται από την ανίχνευση γραμμών CO από αέριο σε απόσταση 12 kpc από το κέντρο του γαλαξία.

---

55. Τα αντικείμενα MACHO οι Αστροφυσικοί ερευνητές τα εντοπίζουν με τη μέθοδο του «βαρυτικού φακού» (gravitational lensing). Αυτό το φαινόμενο είναι προβλεπόμενο από τη γενική σχετικότητα. Σύμφωνα με αυτό, το φως που εκπέμπεται από κάποιο σύνηθες αντικείμενο του σύμπαντος (π.χ. ένα αστέρα), όταν διέρθει από μια περιοχή, όπου υπάρχει ένα αντικείμενο MACHO, κάμπτεται έντονα, υφιστάμενο εστίαση, λόγω του βαρυτικού πεδίου του MACHO. Το αποτέλεσμα είναι ότι ο επίγειος παρατηρητής βλέπει δύο εικόνες του αστέρα. Το αντικείμενο MACHO λειτουργεί σαν ένας βαρυτικός φακός.

56. Βλέπε σελ. 221 - 222

Υλικά Νετρίνα:

Ένα πιθανό σενάριο για την ερμηνεία της σκοτεινής ύλης είναι τα υλικά νετρίνα (massive neutrinos), δηλαδή η υπόθεση ότι τα νετρίνα έχουν μάζα.

Πειράματα ανίχνευσης ηλιακών νετρίνων μας δείχνουν ότι υπάρχει απόκλιση ανάμεσα στα αναμενόμενα και στα παρατηρούμενα νετρίνα, απόκλιση που δεν μπορεί να ερμηνευθεί από τις αβεβαιότητες στα διάφορα ηλιακά μοντέλα ή από τα σφάλματα στα διάφορα πειράματα παρατήρησης.

Τα πειράματα αυτά, όπως το Sudbury Neutrino Observatory (SNO), επιβεβαίωσαν την υποψία ότι τα νετρίνα μπορούν να αλλάξουν την ταυτότητά τους. Οδήγησαν επίσης σε ένα πρωτοποριακό συμπέρασμα: η μεταμόρφωση των νετρίνων προϋποθέτει ότι τα νετρίνα έχουν μάζα, διαφορετικά δεν θα άλλαζαν[57].



---

57. Για περισσότερα στοιχεία σχετικά με τα πειράματα βλέπε άρθρο «*Η αποκάλυψη των ταλαντώσεων των νετρίνων (Νόμπελ Φυσικής 2015)*». Physicsgg Φυσικοί και Φυσική από το διαδίκτυο, Posted on 09/10/2015, https://physicsgg.me/2015/10/09/%CE%B7-

Εξωτική Ύλη:

Θεωρητικά όμως η θεωρία που φιλοδοξεί να περιγράψει το συντριπτικό ποσοστό της Σκοτεινής Ύλης είναι η Υπερσυμμετρία (Supersymmetry – SuSy*).

Οι θεωρίες "ρήξης" της SuSy (Broken Supersymmetric Theories) υποστηρίζουν την ύπαρξη υπερσυμμετρικών σωματιδίων στην γαλαξιακή άλω, ως απηχήσεις της μεγάλης έκρηξης. Σύμφωνα με αυτές τις θεωρίες, τα ελαφρύτερα και σταθερότερα υπερσυμμετρικά σωμάτια που δημιουργήθηκαν στο πρώιμο Σύμπαν, έχουν επιβιώσει μέχρι την εποχή μας και εξαϋλώνονται, παράγοντας πολύ ενεργά αντι-πρωτόνια.

Τέτοια σωμάτια είναι:

το νετραλίνο (neutralino),

το σηλεκτρόνιο (selectron) και

το φωτίνο (photino).

Αυτά τα υπερσυμμετρικά σωματίδια θα μπορούσαν να έχουν συνενωθεί σε δομές σκοτεινής ύλης της τάξης μεγέθους των γαλαξιών. Θα έπρεπε όμως και να μην εκπέμπουν ηλεκτρομαγνητικά για να οριστούν ως σκοτεινή ύλη.

Σύμφωνα με διάφορες εκτιμήσεις τα ποσοστά των τριών συστατικών στην σύσταση της Σκοτεινής Ύλης είναι:

- Συνήθης (ή βαρυονική) Ύλη, 1%.
- Νετρινική (ή «θερμή» Σκοτεινή Ύλη), 30%
- Εξωτική (ή «ψυχρή» Σκοτεινή Ύλη δηλ. Ύλη υπερσυμμετρικών σωματιδίων) 69%

*(i) Η θεωρία της υπερσυμμετρίας ή Susy

Η υπερσυμμετρία είναι μια προτεινόμενη ιδιότητα του σύμπαντος, η οποία ανταλλάσσει φερμιόνια με μποζόνια και τανάπαλιν. Μέχρι σήμερα παραμένει άγνωστο εάν η υπερσυμμετρία αποτελεί πραγματική συμμετρία της φύσης.

Εάν η θεωρία της υπερσυμμετρίας είναι ακριβής, για κάθε γνωστό σωματίδιο, φερμιόνιο ή μποζόνιο, θα υπάρχει ένας υπερσυμμετρικός εταίρος στην άλλη κατηγορία με ίδια μάζα (βλέπε εικ. 2.15). Έτσι, ένα σωματίδιο που ανήκει στην μία κατηγορία έχει έναν υπερ-σύντροφο στην άλλη, πετυχαίνοντας μ'αυτόν τον τρόπο να «κλείσουν οι ανοιχτοί λογαριασμοί», να γίνει η φύση πιο συμμετρική. Παραδείγματος χάριν, ο υπερσύντροφος ενός ηλεκτρονίου ονομάζεται υπερηλεκτρόνιο ή s-ηλεκτρόνιο.

Επειδή το ηλεκτρόνιο είναι φερμιόνιο, τότε το s-ηλεκτρόνιο θα πρέπει να εμφανίζει μποζονική συμπεριφορά. Αλλά αυτό σημαίνει ότι μια μάζα s-ηλεκτρονίων θα μπορούσε να συμπιεστεί απεριόριστα χωρίς να υπόκειται στους περιορισμούς της Αρχής του Pauli. Στο πρώιμο σύμπαν, ηλεκτρόνια και s-ηλεκτρόνια θα είχαν την ίδια μάζα λόγω της υψηλής πυκνότητας ενέργειας και θα αντάλλασσαν διαρκώς ρόλους μεταξύ τους. Καθώς όμως το Σύμπαν διαστελλόταν και ψυχόταν, η υπερσυμμετρία έσπασε, με αποτέλεσμα την εξαφάνιση των υπερσυμμετρικών εταίρων, οι οποίοι απέκτησαν πολύ μεγαλύτερη μάζα σε σχέση με τα πολύ ελαφρότερα συνηθισμένα σωματίδια τα οποία βλέπουμε σήμερα να απαρτίζουν τη γνωστή μας ύλη.

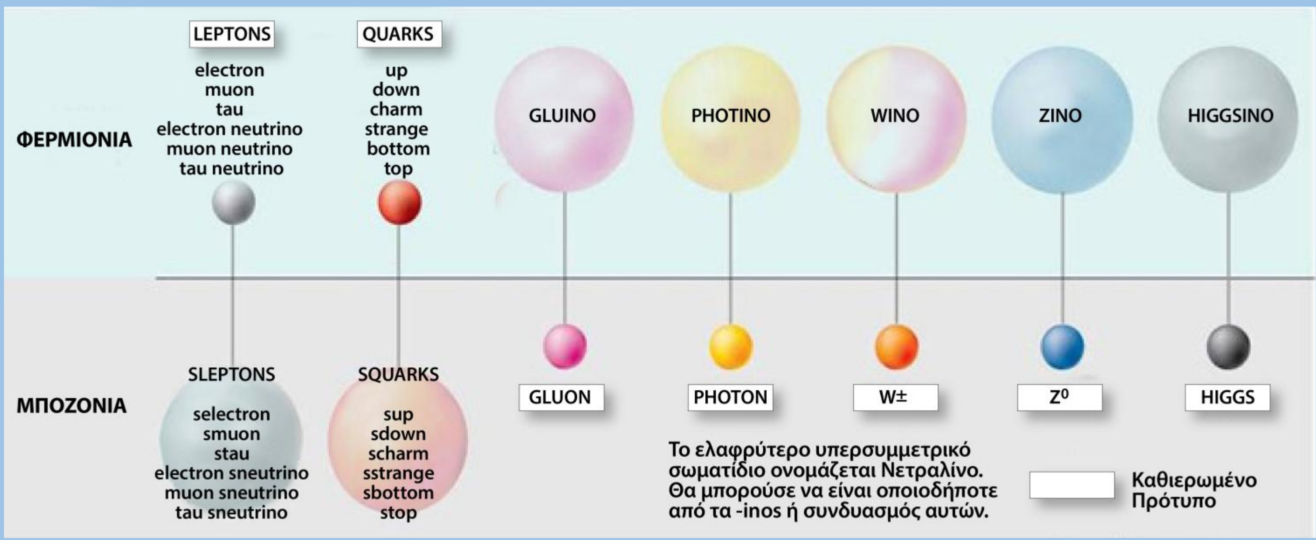
Σύμφωνα όμως με τη θεωρία (Susy), όπως ήδη αναφέραμε, τα ελαφρύτερα και σταθερότερα υπερσυμμετρικά σωμάτια που δημιουργήθηκαν στο πρώιμο Σύμπαν, έχουν επιβιώσει μέχρι την εποχή μας και καθώς εξαϋλώνονται παράγοντας πολύ ενεργά αντι-πρωτόνια, αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος της σκοτεινής ύλης.

Αυτή η θεωρία που πρωτοεμφανίστηκε το 1970 με σκοπό να ενοποιήσει τη φυσική των στοιχειωδών σωματιδίων, έχει ως κύριο χαρακτηριστικό της την ενοποίηση των μποζονίων (με ημιακέραιο σπιν) με τα φερμιόνια (με ακέραιο σπιν), επινοήθηκε δηλαδή για να συγχωνευτούν σε μια ενιαία περιγραφή τα δύο είδη των στοιχειωδών σωματιδίων: τα μποζόνια με σπιν άρτιο πολλαπλάσιο του 1/2 και τα φερμιόνια με σπιν περιττό πολλαπλάσιο του 1/2. Η πιο σημαντική συνέπεια της υπερσυμμετρίας είναι ο διπλασιασμός των στοιχειωδών σωματιδίων προκειμένου να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις συμμετρίας που υπαγορεύονται από την αλγεβρική δομή της θεωρίας. Αποτελεί μεν την ελπίδα της επίλυσης πολλών προβλημάτων στην σωματιδιακή θεωρία, αλλά απαιτεί ίσο αριθμό φερμιονίων και μποζονίων.

Η υπερσυμμετρία θα λέγαμε, περιγράφει έναν μεγαλοπρεπή χορό σωματιδίων του σύμπαντος, μα μπορούμε αυτή τη στιγμή να δούμε μόνο τον ένα παρτενέρ από το ζευγάρι. Παρότι οι υπερ-σύνροφοι δεν έχουν ακόμα παρατηρηθεί στη φύση, ίσως να παραχθούν σε επιταχυντές σωματιδίων πάνω στη Γη.

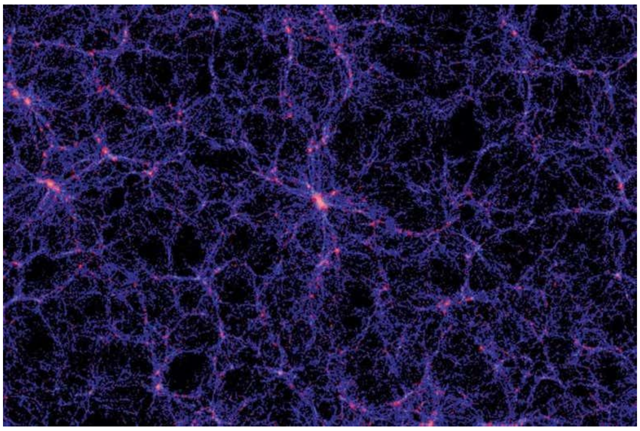
Αν η υπερσυμμετρία είναι μια συμμετρία των φυσικών νόμων, τότε τα φαινομενικά διαφορετικά σωματίδια στην πραγματικότητα αποτελούν τις διαφορετικές όψεις του ίδιου πράγματος.

Εικόνα 2.15


LEPTONS
electron
muon
tau
electron neutrino
muon neutrino
tau neutrino
QUARKS
up
down
charm
strange
bottom
top
ΦΕΡΜΙΟΝΙΑ
GLUINO
PHOTINO
WINO
ZINO
HIGGSINO
ΜΠΟΖΟΝΙΑ
SLEPTONS
selectron
smuon
stau
electron sneutrino
muon sneutrino
tau sneutrino
SQUARKS
sup
sdown
scharm
sstrange
sbottom
stop
GLUON
PHOTON
W±
Z0
HIGGS
Το ελαφρύτερο υπερσυμμετρικό σωματίδιο ονομάζεται Νετραλίνο. Θα μπορούσε να είναι οποιοδήποτε από τα -inos ή συνδυασμός αυτών.
Καθιερωμένο Πρότυπο

(β) Σκοτεινή ενέργεια

Η σκοτεινή ενέργεια είναι μια ιδιότητα του κενού χώρου, η οποία επιτρέπεται να υπάρχει από τη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας του Αϊνστάιν, που λειτουργεί ως μια μεγάλη, αρνητική πίεση, αναγκάζοντας έτσι το σύμπαν να διαστέλλεται με ένα όλο και πιο γρήγορο ρυθμό και πιστεύεται ότι οφείλεται τουλάχιστον εν μέρει, στα εικονικά σωματίδια που συνεχώς αναδύονται από το κενό και εξατμίζονται έπειτα χάρις στην αρχή της αβεβαιότητας (βλέπε εικ. 2.16).



Εικόνα 2.16: Ο αριθμός και το μέγεθος των κοσμικών κενών θα μπορούσαν να ρίξουν φως στη μυστηριώδη σκοτεινή ενέργεια που προκαλεί το σύμπαν να αναπτυχθεί με έναν συνεχώς αυξανόμενο ρυθμό.

Η σκοτεινή ενέργεια πρέπει να βρίσκεται παντού και είναι εξαιρετικά αραιή – ένα κυβικό μέτρο σκοτεινής ενέργειας περιέχει τόση ενέργεια, όση και ένα άτομο υδρογόνου – και δεν συγκροτείται από σωματίδια. Η σκοτεινή, ενέργεια είναι σαν ένα συνεχές, εξαιρετικά ελαστικό μέσο. Η ελαστικότητα της οδηγεί στο πιο σημαντικό και ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της: Η «βαρύτητά» της απωθεί αντί να έλκει. Έτσι, οι Αστροφυσικοί ερμηνεύουν την επέκταση του Σύμπαντος, αφού αποδέχτηκαν ότι στο Σύμπαν είναι πανταχού παρούσα μια «νέα μορφή ενέργειας», η οποία προκαλεί τη συνεχή επέκτασή του και άρα την απομάκρυνση των γαλαξιών μεταξύ τους.

Η ύπαρξη της μυστηριώδους σκοτεινής ενέργειας επιβεβαιώνεται μέσα από το συνδυασμό των παρατηρήσεων και των σχετικών μετρήσεων έρευνας που αναλύει τον τρόπο κατανομής των γαλαξιών στο σύμπαν, καθώς επίσης το πόσο γρήγορα οι ομάδες γαλαξιών έχουν σχηματιστεί στο πέρασμα του χρόνου[58].

58. Στο πλαίσιο της έρευνας αυτής με την ονομασία «WiggleZ», μελετήθηκαν περισσότεροι από 200.000 γαλαξίες «κοιτώντας» μέχρι οκτώ δισεκατομμύρια χρόνια στο παρελθόν (για περισσότερες πληροφορίες βλέπε άρθρο του Blake, C. και της ομάδας WiggleZ «*The WiggleZ Dark Energy Survey*». Astronomy & Geophysics, Oxford journal, Volume 49, Issue 5, October 2008, pp. 5.19 - 5.24, https://academic.oup.com/astrogeo/article/49/5/5.19/422429).

Στην περίπτωση που το Σύμπαν συνεχίσει να διαστέλλεται, αν θεωρήσουμε ότι είναι ένα κλειστό σύστημα, τότε βάσει του 2ου θερμοδυναμικού νόμου[59], τείνει να χάνει την δυνατότητα παραγωγής έργου και να μεταπίπτει συνεχώς από μια κατάσταση τάξης σε μια κατάσταση αταξίας ή μεγαλύτερης εντροπίας (είναι η έννοια μέσω της οποίας μετράται η αταξία).

Τελεολογικά θα πρέπει να περιμένουμε από τα ανωτέρω, το θερμικό θάνατο του σύμπαντος[60]: Η θερμική ενέργεια του σύμπαντος θα αυξηθεί σε βάρος των άλλων μορφών ενέργειας – μηχανική, ηλεκτρομαγνητική κ.λπ. – έως ότου κάποτε δεν θα υπάρχει άλλη ενέργεια πια για να μετατραπεί σε θερμότητα[61], όλες οι φυσικές δραστηριότητες στο σύμπαν θα τείνουν προς μια τελική κατάσταση θερμοδυναμικής ισορροπίας, ή μέγιστης εντροπίας, ύστερα από την οποία τίποτε το αξιόλογο δεν πρόκειται να συμβεί σε όλους τους επόμενους αιώνες. Όλα αυτά αφορούν βεβαίως συστήματα που βρίσκονται σε κατάσταση ισορροπίας. Κατά τον Ilya Prigogine, όμως σε καταστάσεις μακράν της ισορροπίας η ύλη μπορεί να συμπεριφερθεί με θαυμαστούς τρόπους, όπου εμφανίζονται περιπτώσεις αυτοοργάνωσης, αυθόρμητης ανάπτυξης συστημάτων και δομών· όλα αυτά συνοδεύονται από την εμφάνιση απείρων δυνατοτήτων και επιλογών, που καθιστούν μη προβλέψιμη τη μελλοντική εξέλιξη του συστήματος.

---

59. Ο δεύτερος θερμοδυναμικός νόμος απαγορεύει την κατασκευή οποιουδήποτε είδους αεικίνητου, δηλαδή την παραγωγή ενέργειας εκ του μηδενός. Σε οποιαδήποτε διεργασία ένα μέρος της διαθέσιμης ενέργειας μετατρέπεται σε θερμότητα ή χρησιμοποιείτε για την εσωτερική αναδιάταξη χημικών ενώσεων ή για άλλες αλλαγές εντροπίας. Σε μία μεταβολή ενός απομονωμένου συστήματος η εντροπία αυξάνει πάντοτε και η μεταβολή της ισούται με το μέτρο της θερμικής ενέργειας που δε μπορεί πια να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή έργου.

Η εντροπία εκφράζει τη δυνατότητα ενός συστήματος να παράγει μηχανικό έργο (όσο μικρότερη η εντροπία, τόσο μεγαλύτερη η δυνατότητα του συστήματος να παράγει μηχανικό έργο).

Λόγω της διατύπωσης του 2ου θερμοδυναμικού νόμου, η έννοια της εντροπίας είναι πολύ σημαντική στην κατανόηση της χρονικής ακολουθίας των γεγονότων σε ένα απομονωμένο σύστημα, καθώς κάθε κατάσταση του συστήματος θα έχει μεγαλύτερη εντροπία από την προηγούμενη κατάσταση.

Το θερμοδυναμικό αξίωμα διατύπωσε και απέδειξε ο λόρδος Kelvin το 1859.

$\mathbf{dS/dt \geq 0}$

Όπου S είναι η εντροπία

Ακόμη, ο δεύτερος θερμοδυναμικός νόμος απαγορεύει σε δύο σώματα ίσης θερμοκρασίας, που είναι σε επαφή μεταξύ τους και απομονωμένα από το περιβάλλον, από το να εξελιχθούν σε μια κατάσταση στην οποία το ένα από τα δύο να έχει μια σημαντικά υψηλότερη θερμοκρασία από το άλλο.

60. Η πιο πάνω θεωρία εξηγείται καλύτερα στο άρθρο «*Ο δεύτερος θερμοδυναμικός νόμος και το βέλος του χρόνου*». Physics4u, Ιούνιος 2008, http://www.physics4u.gr/articles/2008/second_law.html

61. Σ' όλες τις μετατροπές ενέργειας από μια μορφή σε άλλη, ένα μέρος της ενέργειας πάντα μετατρέπεται σε θερμότητα, η οποία αποτελεί την κατώτατη μορφή ενέργειας με πολύ μικρό συντελεστή απόδοσης.

Παραπομπές (References)

3. Δεληβοριάς, Α. (2017) *Η Διαστολή του Σύμπαντος και το Παράδοξο του Olbers*. Ίδρυμα Ευγενίδου, https://www.eef.edu.gr/el/arthra/h-diastoli-tou-sympantos-kai-to-paradokso-tou-olbers/?sa=X&ved=2ahUKEwiTis77yJnnAhWy1aYKHTEuDo4QFjAAegQIAhAB

4. Γαβρίλης, Κ. κ.ά. (2000) *Στοιχεία Αστρονομίας & Διαστημικής*. Β΄ Ενιαίου Λυκείου, έκδοση Β΄, Ο.Ε.Δ.Β., Αθήνα, σ. 133.

6. *Ζούμε σ' ένα Σύμπαν…* Physics4u's Weblog, 11/02/2012, https://physics4u.wordpress.com/2012/02/11/%CF%8D-%CE%AD-%CF%8D-2/

7. Χαλκιά, Κ. (2006) *Το Ηλιακό Σύστημα μέσα στο Σύμπαν – Η διαδρομή από την επιστημονική στη σχολική γνώση*. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο, σ. 506.

8. *Διακυμάνσεις του Κενού και η Προέλευση του Σύμπαντος*. Physics4u, Σεπτέμβριος 2006, http://www.physics4u.gr/articles/2006/vacuum_fluctuations_universe.html

9. *Οι κοσμολογικές θεωρίες του Tryon και Vilenkin για την ανάδυση του σύμπαντος από το Τίποτα.* Δικτυακή πύλη Φυσικής στην Ελλάδα Physics4u, 10/06/2017, http://physics4u.gr/blog/2017/06/10/%CE%BF%CE%B9-%CE%BA%CE%BF%CF%83%CE%BC%CE%BF%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%B9%CE%BA%CE%AD%CF%82-%CE%B8%CE%B5%CF%89%CF%81%CE%AF%CE%B5%CF%82-%CF%84%CF%89%CE%BD-tryon-%CE%BA%CE%B1%CE%B9-vilenkin-%CE%B3%CE%B9%CE%B1/

10. *4η θεωρία για την προέλευση και την εξέλιξη του Σύμπαντος - Το σύμπαν φτιάχτηκε εκ του μηδενός*. Physics4u, Μάρτιος 2007, http://www.physics4u.gr/articles/2007/theories_universe4.html

12. *Διακυμάνσεις του Κενού και η Προέλευση του Σύμπαντος*. Physics4u, Σεπτέμβριος 2006, http://www.physics4u.gr/articles/2006/vacuum_fluctuations_universe.html

17. *Γιατί υπάρχει το σύμπαν*; Physics4u's Weblog, 15/08/2011, https://physics4u.wordpress.com/2011/08/15/%CE%AF-%CE%AC-%CF%8D-2/

20. *4η θεωρία για την προέλευση και την εξέλιξη του Σύμπαντος - Το σύμπαν φτιάχτηκε εκ του μηδενός*. Physics4u, Μάρτιος 2007, http://www.physics4u.gr/articles/2007/theories_universe4.html

21. *Διακυμάνσεις του Κενού και η Προέλευση του Σύμπαντος*. Physics4u, Σεπτέμβριος 2006, http://www.physics4u.gr/articles/2006/vacuum_fluctuations_universe.html

22. *Γιατί υπάρχει το σύμπαν*; Physics4u, 09/09/2015, http://physics4u.gr/blog/2015/09/09/%CE%B3%CE%B9%CE%B1%CF%84%CE%AF-%CF%85%CF%80%CE%AC%CF%81%CF%87%CE%B5%CE%B9-%CF%84%CE%BF-%CF%83%CF%8D%CE%BC%CF%80%CE%B1%CE%BD/

27. *Λεξικό της Φυσικής.* Εκδόσεις ΜΑΛΛΙΑΡΗΣ-ΠΑΙΔΕΙΑ Α.Ε./Oxford University Press, Μετάφραση: Κώστας Θεολόγου, Επιστημονική θεώρηση: Δημήτρης Τζεβελέκης, 1993, ISBN: 960 – 239 – 137 – 5, σ. 74.

34. Livio, M. (2008) *Το μέτρο της Συμμετρίας.* European journal «Science in School», Μετάφραση Αντώνης Γίτσας (Antonis Gitsas), http://www.scienceinschool.org/el/2006/issue2/symmetry

36. *Symmetry making and symmetry breaking*. Submitted by Marianne Freiberger Editor of Plus magazine. She interviewed John D. Barrow and John Ellis in December 2015, https://plus.maths.org/content/symmetry-making-and-symmetry-breaking

42. *Η παραβίαση της απαγορευτικής αρχής του Pauli…* Physicsgg Φυσικοί και Φυσική από το διαδίκτυο, Posted on 23/05/2017, https://physicsgg.me/2017/05/23/%CE%B7-%CF%80%CE%B1%CF%81%CE%B1%CE%B2%CE%AF%CE%B1%CF%83%CE%B7-%CF%84%CE%B7%CF%82-%CE%B1%CF%80%CE%B1%CE%B3%CE%BF%CF%81%CE%B5%CF%85%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE%CF%82-%CE%B1%CF%81%CF%87%CE%AE%CF%82-%CF%84/

43. Τραχανάς, Σ. (1994) *Κβαντομηχανική ΙΙ: Τρισδιάστατα Προβλήματα – Κβαντική Θεωρία της Ύλης*. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, 4η έκδοση, Ηράκλειο, σ. 174.

46. Murayama, H. – *Το καθιερωμένο πρότυπο*. International Particle Physics Outreach Group (IPPOG), Μετάφραση: Άρης Χατζηχρήστος, http://www.physics.ntua.gr/POPPHYS/60/SM.html

48. *Μποζόνιο Higgs: Το σωματίδιο του Θεού*. Physics4u, Φεβρουάριος 2008, http://www.physics4u.gr/articles/2008/Higgs.html

51. Δανέζης, Μ. - *Το υπέροχο Σύμπαν του μέλλοντος μας*. Τμήμα Φυσικής Πανεπιστημίου Αθηνών, https://manosdanezis.gr/wp-content/uploads/2017/08/13.pdf

52. D'Agostino, M. - *Ακτινοβολια Cherenkov*. University of California Berkeley, International Particle Physics Outreach Group (IPPOG), Μετάφραση: Άρης Χατζηχρήστος, http://www.physics.ntua.gr/POPPHYS/60/cherenkov.html

54. *Η σκοτεινή ενέργεια και η αναπάντεχη διαστολή του σύμπαντος*. Physics4u's Weblog, 24/01/2017, https://physics4u.wordpress.com/2017/01/24/%CE%B7-%CF%83%CE%BA%CE%BF%CF%84%CE%B5%CE%B9%CE%BD%CE%AE-%CE%B5%CE%BD%CE%AD%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1-%CE%BA%CE%B1%CE%B9-%CE%B7-%CE%B1%CE%BD%CE%B1%CF%80%CE%AC%CE%BD%CF%84%CE%B5%CF%87%CE%B7-%CE%B4/

57. *Η αποκάλυψη των ταλαντώσεων των νετρίνων (Νόμπελ Φυσικής 2015)*. Physicsgg Φυσικοί και Φυσική από το διαδίκτυο, Posted on 09/10/2015, https://physicsgg.me/2015/10/09/%CE%B7-%CE%B1%CF%80%CE%BF%CE%BA%CE%AC%CE%BB%CF%85%CF%88%CE%B7-%CF%84%CF%89%CE%BD-%CF%84%CE%B1%CE%BB%CE%B1%CE%BD%CF%84%CF%8E%CF%83%CE%B5%CF%89%CE%BD-%CF%84%CF%89%CE%BD-%CE%BD%CE%B5%CF%84%CF%81%CE%AF/

58. Blake, C. and the WiggleZ team - *The WiggleZ Dark Energy Survey.* Astronomy & Geophysics, Oxford journal, Volume 49, Issue 5, October 2008, pp. 5.19 - 5.24, https://academic.oup.com/astrogeo/article/49/5/5.19/422429

60. *Ο δεύτερος θερμοδυναμικός νόμος και το βέλος του χρόνου.* Physics4u, Ιούνιος 2008, http://www.physics4u.gr/articles/2008/second_law.html

ΠΗΓΕΣ ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2:

Γαβρίλης, Κ., κ.ά. (2000) – *Στοιχεία Αστρονομίας & Διαστημικής.* Β΄ Ενιαίου Λυκείου, έκδοση Β΄, Ο.Ε.Δ.Β., Αθήνα, σσ. 104, 130 – 134, 138.

Γιατί υπάρχει το σύμπαν; Physics4u, 09/09/2015, http://physics4u.gr/blog/2015/09/09/%CE%B3%CE%B9%CE%B1%CF%84%CE%AF-%CF%85%CF%80%CE%AC%CF%81%CF%87%CE%B5%CE%B9-%CF%84%CE%BF-%CF%83%CF%8D%CE%BC%CF%80%CE%B1%CE%BD/

Διακυμάνσεις του Κενού και η Προέλευση του Σύμπαντος. Physics4u, Σεπτέμβριος 2006, http://www.physics4u.gr/articles/2006/vacuum_fluctuations_universe.html

Ζούμε σ΄ ένα σύμπαν… Physics4u's Weblog, 11/02/2012, https://physics4u.wordpress.com/2012/02/11/%CF%8D-%CE%AD-%CF%8D-2/

Η θεωρία της υπερσυμμετρίας ή Susy. Physics4u, Σεπτέμβριος 2006, http://www.physics4u.gr/articles/2006/susy.html

Η σκοτεινή ενέργεια και η αναπάντεχη διαστολή του σύμπαντος. Physics4u's Weblog, 24/01/2017, https://physics4u.wordpress.com/2017/01/24/%CE%B7-%CF%83%CE%BA%CE%BF%CF%84%CE%B5%CE%B9%CE%BD%CE%AE-%CE%B5%CE%BD%CE%AD%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1-%CE%BA%CE%B1%CE%B9-%CE%B7-%CE%B1%CE%BD%CE%B1%CF%80%CE%AC%CE%BD%CF%84%CE%B5%CF%87%CE%B7-%CE%B4/

Η συμμετρία στη φυσική. Physics4u, 24/11/2009, http://physics4u.gr/blog/2009/11/24/%CE%B7-%CF%83%CF%85%CE%BC%CE%BC%CE%B5%CF%84%CF%81%CE%AF%CE%B1-%CF%83%CF%84%CE%B7-%CF%86%CF%85%CF%83%CE%B9%CE%BA%CE%AE/

Καλαμάκης, Γ. (2010) *Μηχανισμός Higgs*. Σημειώσεις, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, σσ. 8, 17, 19 – 20, https://www.slideserve.com/nat/ss-higgs-powerpoint-ppt-presentation

Καφεσάκη, Μ. - *Σύγχρονη Φυσική, 9. Στοιχειώδη σωματίδια (9.a. Οι θεμελιώδεις δυνάμεις, 9.b. Ταξινόμηση σωματιδίων, 9.c. Νόμοι διατήρησης & 9.d. Τα quarks).* Διαλέξεις/Σημειώσεις, http://gate.iesl.forth.gr/~kafesaki/Modern-Physics/lectures/modern_physics10.html

Lincoln, D. (2013) *Symmetry: How Beautiful Math Makes Elegant Physics.* Blog: The Nature of Reality, http://www.pbs.org/wgbh/nova/blogs/physics/2013/04/symmetry-how-beautiful-math-makes-elegant-physics/

Livio, M. (2008) *Το μέτρο της Συμμετρίας.* European journal «Science in School» Μετάφραση Αντώνης Γίτσας (Antonis Gitsas), http://www.scienceinschool.org/el/2006/issue2/symmetry

Μανουσέλης, Σ. (2010) *Η πρώτη εικόνα του Σύμπαντος - βρέφους.* Ελευθεροτυπία, http://www.enet.gr/?i=news.el.article&id=183853

Murayama, H. – *Το καθιερωμένο πρότυπο*. International Particle Physics Outreach Group (IPPOG), Μετάφραση: Άρης Χατζηχρήστος, http://www.physics.ntua.gr/POPPHYS/60/SM.html

Μήκος Planck, χρόνος Planck και μάζα Planck. Blog physicsgg, posted 22/2/2011, https://physicsgg.me/2011/02/22/%CE%BC%CE%AE%CE%BA%CE%BF%CF%82-%CF%87%CF%81%CF%8C%CE%BD%CE%BF%CF%82-%CE%BA%CE%B1%CE%B9-%CE%BC%CE%AC%CE%B6%CE%B1-planck/

Μια ανασκόπηση των ιδεών της συμμετρίας. Physics4u, 2001, http://www.physics4u.gr/articles/symmetry.html

Μπάνος, Γ. (1998) *Στοιχεία Αστρονομίας & Διαστημικής*. Β΄ Τάξη Ενιαίου Λυκείου, Έκδοση Θ΄, Ο.Ε.Δ.Β., Αθήνα, σσ. 6, 147 – 150.

Brown, J., Davies, P. (2005) *Υπερχορδές - Η Θεωρία των Πάντων*; Εκδόσεις Κάτοπτρο, δεύτερη έκδοση, Αθήνα, σσ. 40 – 43, 45 – 46, 51.

Οι σπασμένες συμμετρίες και το Νόμπελ στη Φυσική 2008. Physics4u, Οκτώβριος 2008, http://www.physics4u.gr/articles/2008/nobel2008.html

Πληθωριστικό μοντέλο. Από astronomia.gr, Wiki ιστολόγιο, Παρασκευή 5.01.2007, (Liddle, A. – *Introduction to Cosmology*, Second Edition, Publisher: John Wiley and Sons), https://www.astronomia.gr/wiki/index.php?title=%CE%A0%CE%BB%CE%B7%CE%B8%CF%89%CF%81%CE%B9%CF%83%CE%BC%CF%8C%CF%82&redirect=no

Τα διάφορα είδη του κενού και ο πληθωρισμός. Physics4u, Οκτώβριος 2007, http://www.physics4u.gr/articles/2007/vacuum_inflation.html

Turner, M. - *Η σκοτεινή ενέργεια.* International Particle Physics Outreach Group (IPPOG), Μετάφραση: Άρης Χατζηχρήστος, http://www.physics.ntua.gr/POPPHYS/60/dark_energy.html

Τι είναι η κοσμική ακτινοβολία υποβάθρου; (ή Κοσμική Ακτινοβολία Μικροκυμάτων – ΚΑΜ). Physicsgg Φυσικοί και Φυσική από το διαδίκτυο, Posted on 22/12/2012, https://physicsgg.me/2012/12/22/τι%CE%B9-%CE%B5%CE%AF%CE%BD%CE%B1%CE%B9-%CE%B7-%CE%BA%CE%BF%CF%83%CE%BC%CE%B9%CE%BA%CE%AE-%CE%B1%CE%BA%CF%84%CE%B9%CE%BD%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CE%AF%CE%B1-%CF%85%CF%80%CE%BF%CE%B2%CE%AC%CE%B8%CF%81/

Τι είναι η κρίσιμη πυκνότητα του σύμπαντος; Blog physicsgg, Σάββατο 8.10.2011, http://physicsgg.me/2011/10/08/τι-είναι-η-κρίσιμη-πυκνότητα-του-σύμπα/

Τι είναι τα ταχυόνια; Δικτυακή πύλη Φυσικής στην Ελλάδα Physics4u, http://www.physics4u.gr/faq/tachyons.html

Το πληθωριστικό σύμπαν. Physicsgg Φυσικοί και Φυσική από το διαδίκτυο, Posted on 29/03/2011, https://physicsgg.me/2011/03/29/%CF%84%CE%BF-%CF%80%CE%BB%CE%B7%CE%B8%CF%89%CF%81%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%B9%CE%BA%CF%8C-%CF%83%CF%8D%CE%BC%CF%80%CE%B1%CE%BD/

Υπάρχουν πράγματι κρυμμένες διαστάσεις στο σύμπαν; 2ο μοντέλο για τον χώρο. Physics4u's Weblog, 31.10.2009, http://physics4u.wordpress.com/2009/10/31/%CE%AC-%CE%AC-%CE%AD-%CE%AC/

Υπόνοιες για ελαφρά σωματίδια σκοτεινής ύλης στο διάστημα. Physics4u's Weblog, 30/10/2010, https://physics4u.wordpress.com/2010/10/30/%CF%8C-%CE%AC-%CE%AF-t/

Huston, J. *Η συμμετρία*. Michigan State University, European Particle Physics Outreach Group (EPPOG), Μετάφραση: Μανώλης Χανιωτάκης, τεύχος 10/2011, http://www.physics.ntua.gr/POPPHYS/60/Symmetry.html

Hewett, J. (2012) *Η υπερσυμμετρία.* European Particle Physics Outreach Group (EPPOG), Μετάφραση Δήμητρα Κάντα, http://www.physics.ntua.gr/POPPHYS/60/susy.html

36 χρόνια από την πρωτοδημοσίευση της θεωρίας του πληθωρισμού. Physics4u Weblog, 29/03/2017, http://physics4u.gr/blog/2017/03/29/36-%cf%87%cf%81%cf%8c%ce%bd%ce%b9%ce%b1-%ce%b1%cf%80%cf%8c-%cf%84%ce%b7%ce%bd-%cf%80%cf%81%cf%89%cf%84%ce%bf%ce%b4%ce%b7%ce%bc%ce%bf%cf%83%ce%af%ce%b5%cf%85%cf%83%ce%b7-%cf%84%ce%b7%cf%82-%ce%b8%ce%b5/

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΘΕΩΡΙΕΣ ΤΗΣ ΣΥΓΧΡΟΝΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ & ΚΟΣΜΟΛΟΓΙΑ

«Πλέον είμαι πεπεισμένος ότι η θεωρητική φυσική είναι στην πραγματικότητα φιλοσοφία.» Max Born 1882-1970 μ.χ.

Στο κεφάλαιο αυτό θα εξετάσουμε τις θεωρίες της Σύγχρονης Φυσικής, που διέπουν την Κοσμολογία.

3.1 Η θεωρία της σχετικότητας

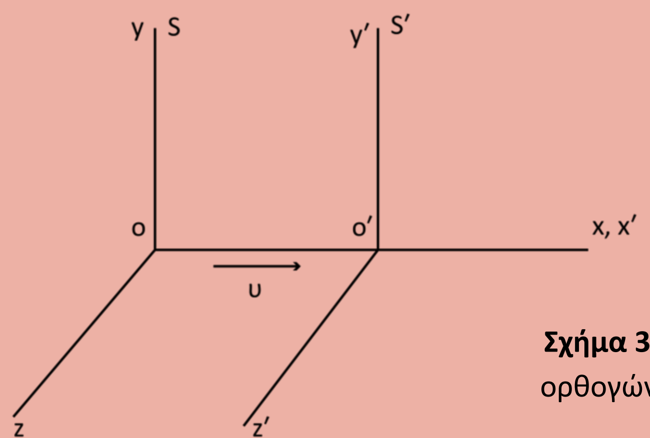
Η θεωρία της σχετικότητας, ή απλά σχετικότητα, αναφέρεται σε τρεις θεωρίες: στην αρχή της σχετικότητας του Γαλιλαίου, στην ειδική και γενική θεωρία της σχετικότητας του Άλμπερτ Αϊνστάιν.

3.1.1 Ειδική αρχή της σχετικότητας του Γαλιλαίου – Μετασχηματισμός συντεταγμένων του Γαλιλαίου

Πριν εξετάσουμε τις θεωρίες της Σύγχρονης Φυσικής που διέπουν τη δομή και την εξέλιξη του Σύμπαντος, θα κάνουμε εισαγωγή από μια βασική αρχή της Κλασσικής Μηχανικής, την ειδική αρχή της σχετικότητας του Γαλιλαίου. Σύμφωνα με αυτή, όλα τα αδρανειακά συστήματα είναι ισοδύναμα για τη μελέτη των νόμων της Μηχανικής. Αυτό σημαίνει ότι οι βασικοί νόμοι της Μηχανικής (π.χ. οι νόμοι του Νεύτωνα) έχουν την ίδια μορφή σε κάθε αδρανειακό σύστημα, δηλαδή η μαθηματική τους έκφραση είναι η ίδια σε οποιοδήποτε αδρανειακό σύστημα αναφοράς. Υπενθυμίζουμε ότι εάν ένα σύστημα αναφοράς είναι αδρανειακό, κάθε άλλο σύστημα αναφοράς που κινείται ως προς αυτό με σταθερή ταχύτητα, ευθύγραμμα και χωρίς περιστροφή, είναι επίσης αδρανειακό. Η μαθηματική έκφραση της ειδικής αρχής της σχετικότητας είναι οι τύποι μετασχηματισμού του Γαλιλαίου, μεταξύ των συντεταγμένων ενός γεγονότος σε δύο αδρανειακά συστήματα.

Προκειμένου να αποδείξουμε την ισοδυναμία αυτή θεωρούμε δύο αδρανειακά συστήματα S και S', όπου το S' κινείται ως προς το S με σταθερή ταχύτητα υ, χωρίς να περιστρέφεται και εκλέγουμε στα συστήματα αυτά τα ορθογώνια καρτεσιανά συστήματα $Oxyz$ και $O'x'y'z'$ αντίστοιχα, έτσι ώστε οι άξονες τους να συμπίπτουν και να είναι κατά τη διεύθυνση της σχετικής ταχύτητας του S' ως προς το S. Επίσης οι άξονες Oy και Oy' και οι Oz και Oz' είναι παράλληλοι μεταξύ τους (όπως φαίνεται στο σχήμα 3.1). Εάν οι συντεταγμένες ενός γεγονότος είναι οι (x, y, z, t), ως προς το σύστημα S και (x', y', z', t') οι συντεταγμένες του ίδιου γεγονότος στο σύστημα S', οι τύποι μετασχηματισμού του Γαλιλαίου είναι οι:

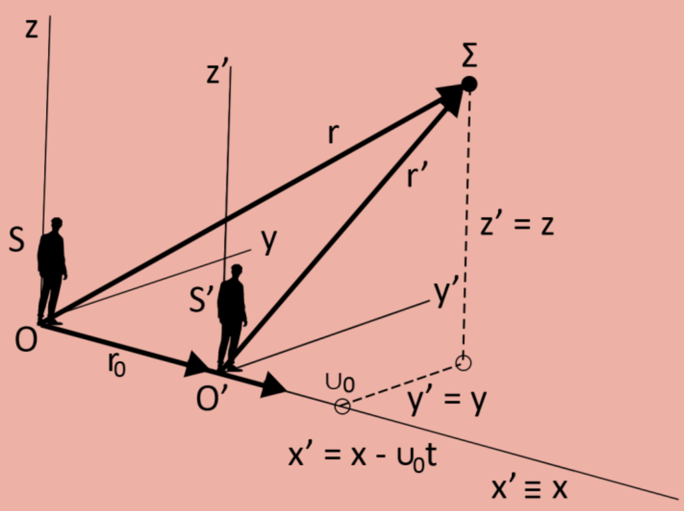
$$x' = x - \upsilon t$$
$$y' = y$$
$$z' = z$$
$$t' = t$$



Σχήμα 3.1: Τα αδρανειακά συστήματα S και S′ και τα ορθογώνια καρτεσιανά συστήματα Oxyz και O′x′y′z′.

(α) Απόδειξη των τύπων μετασχηματισμού του Γαλιλαίου

Για να εξαγάγουμε τους μετασχηματισμούς του Γαλιλαίου, θα μελετήσουμε τους νόμους της κίνησης ως προς δύο αδρανειακούς παρατηρητές που κινούνται μεταξύ τους με σταθερή ταχύτητα $\mathbf{υ}_0$ επιλέγοντας δύο τρισορθογώνια συστήματα συντεταγμένων S με άξονες x, y, z και S′ με άξονες x′, y′, z′. Για ευκολία και απλότητα, επειδή οι ποσότητες **r**, **υ** και **a** (θέση, ταχύτητα και επιτάχυνση) για ένα σώμα δεν εξαρτώνται από τον προσανατολισμό των αξόνων συντεταγμένων κάθε συστήματος, θεωρούμε ότι ο άξονας x′ συμπίπτει με τον x ενώ οι άξονες y′, z′ είναι παράλληλοι με τους αντίστοιχους άξονες του πρώτου συστήματος όπως φαίνεται στο σχήμα 3.2. Τα δύο συστήματα αναφοράς S και S′ είναι αδρανειακά, εκ των οποίων το S′, κινείται ως προς το S που είναι ακίνητο, με σταθερή ταχύτητα $\mathbf{υ}_0 = υ_0\hat{\mathbf{x}}$



Σχήμα 3.2: Τα συστήματα S, S′ βρίσκονται σε ομαλή ευθύγραμμη σχετική κίνηση.

Έτσι, οι συντεταγμένες της ταχύτητας $\mathbf{υ}_0$ είναι:

$$\frac{dx}{dt} = υ_0\,, \quad \frac{dy}{dt} = 0\,, \quad \frac{dz}{dt} = 0\,.$$

Αρχικά θα εξετάσουμε την επίδραση της κίνησης στα βασικά μεγέθη της μάζας m, του μήκους l και του χρόνου t. Επειδή όμως, η ταχύτητα $υ_0$, είναι πολύ μικρότερη της ταχύτητας του φωτός c, δηλαδή $\frac{υ_0}{c} << 1$, η κίνηση δεν επηρεάζει καθόλου τα βασικά μεγέθη, ισχύουν δηλαδή t = t′, m = m′, $l = l'$, όπου t, m, l, τα μεγέθη των αντίστοιχων φυσικών ποσοτήτων, όπως μετρούνται στο ακίνητο σύστημα S και t′, m′, l', τα αντίστοιχα μεγέθη όπως μετρούνται στο κινούμενο σύστημα S′.

Υποθέτουμε ότι για $t = 0$, οι αρχές O και O′ των δύο συστημάτων S και S′, συμπίπτουν. Αν λοιπόν, τη χρονική στιγμή t ένα σώμα Σ βρίσκεται σε θέση r (x, y, z) ως προς το σύστημα S, η αντίστοιχη θέση στο κινούμενο σύστημα S′, προσδιορίζεται από το διάνυσμα $r'(x', y', z')$. Τα δύο διανύσματα r και r′, συνδέονται με τη σχέση $r = r_0 + r'$, όπου r_0 το διάνυσμα θέσης του O′. Επειδή $\upsilon_0 = r_0/t$, άρα $r_0 = \upsilon_0\, t\, \hat{x} = \upsilon_0\, t\, \hat{x}'$,

επομένως, καταλήγουμε $\boxed{r' = r - \upsilon_0\, t}$

Η σχέση αυτή αναλύεται στις ακόλουθες σχέσεις συντεταγμένων:

$x' = x - \upsilon_0\, t$

$y' = y$: (3.1)

$z' = z$

όπου μαζί με την $t' = t$ (για όλα τα αδρανειακά συστήματα αναφοράς, ο χρόνος κατά τον Γαλιλαίο είναι ο ίδιος) αποτελούν μια ομάδα τεσσάρων εξισώσεων που ονομάζονται **τύποι μετασχηματισμού του Γαλιλαίου**.

Όπως θα δούμε παρακάτω, όταν οι μετασχηματισμοί των συντεταγμένων γίνονται με βάση τους τύπους του Γαλιλαίου, τότε η μαθηματική έκφραση των βασικών νόμων της Μηχανικής παραμένει η ίδια σε όλα τα αδρανειακά συστήματα. Τούτο υποτίθετο ότι ισχύει, διότι σύμφωνα με την κλασική άποψη ο χώρος και ο χρόνος είναι απόλυτοι.

Αδρανειακό σύστημα αναφοράς: είναι ένα σύστημα στο οποίο ένα σώμα επιταχύνεται μόνο όταν μια δύναμη εφαρμόζεται πάνω του, και εάν δεν εφαρμόζεται πάνω του καμιά δύναμη, ένα σώμα που έχει μηδενική ταχύτητα θα συνεχίσει να ηρεμεί και ένα σώμα που κινείται θα συνεχίσει να κινείται με σταθερή ταχύτητα και ευθύγραμμα.

… Συνέχεια από σελίδα 105.

Οι τύποι αυτοί αναφέρονται στην ειδική διάταξη των ορθογωνίων συστημάτων $Oxyz$ και $O'x'y'z'$, η οποία φαίνεται στο Σχ. 3.1 σελ. 105, με την πρόσθετη υπόθεση ότι για $t=0$ τα δύο συστήματα συντεταγμένων συμπίπτουν, δηλαδή το O' συμπίπτει με το O.
Υποθέτουμε ότι ένας παρατηρητής σε κάθε ένα από τα αδρανειακά συστήματα S και S' έχει τις δικές του στερεές ράβδους, ως μονάδα μήκους, για να μετρά αποστάσεις και τα δικά του ρολόγια για να μετρά το χρόνο και ότι οι μονάδες μέτρησης του μήκους και του χρόνου είναι οι ίδιες σε όλους τους αδρανειακούς παρατηρητές.
Ακόμη από τα όσα αναφέραμε προηγουμένως, τα ρολόγια των δύο παρατηρητών στο S και S' είναι συγχρονισμένα και δείχνουν την ένδειξη μηδέν τη στιγμή που τα δύο συστήματα συμπίπτουν, καθώς το S' κινείται ως προς το S.

Σύμφωνα με την Κλασσική Μηχανική, σ' ένα αδρανειακό σύστημα αναφοράς, ο χώρος θεωρείται ότι είναι Ευκλείδειος και τριών διαστάσεων και επίσης ότι είναι ισότροπος και ομογενής. Ο χρόνος επίσης θεωρείται ομογενής. Οι τύποι μετασχηματισμού του Γαλιλαίου (3.1) συνδέουν το χώρο και το χρόνο από ένα αδρανειακό σύστημα σε ένα άλλο. Βλέπουμε ότι ο μετασχηματισμός του χρόνου (τέταρτη εξίσωση) είναι ανεξάρτητος από τον μετασχηματισμό του χώρου (τρεις πρώτες εξισώσεις), κάτι που σημαίνει ότι δύο γεγονότα ως προς παρατηρητή στο σύστημα S με συντεταγμένες (x_1, y_1, z_1, t_1) και (x_2, y_2, z_2, t_2) που είναι ταυτόχρονα, δηλαδή $t_1 = t_2$, είναι ταυτόχρονα και για οποιοδήποτε άλλο αδρανειακό παρατηρητή διότι $t_1' = t_1$ και $t_2' = t_2$ και συνεπώς $t_1' = t_2'$. Αρα ο χρόνος είναι παγκόσμιος.

Επίσης για κάθε αδρανειακό παρατηρητή η απόσταση δύο γεγονότων στο χώρο είναι η ίδια. Ας θεωρήσουμε δύο ταυτόχρονα γεγονότα Α και Β με συντεταγμένες (x_1, y_1, z_1, t_1) και (x_2, y_2, z_2, t_2) αντίστοιχα, όπου $t_1 = t_2$. Το Πυθαγόρειο Θεώρημα δίνει την απόσταση των θέσεων των δύο αυτών γεγονότων στο χώρο,

$$l = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}$$

Σε ένα άλλο αδρανειακό σύστημα S′, το οποίο κινείται ως προς το S με ταχύτητα υ, οι συντεταγμένες των δύο αυτών γεγονότων είναι οι (x_1', y_1', z_1', t_1') και (x_2', y_2', z_2', t_2'), αντίστοιχα. Όπως υποθέσαμε οι παρατηρήσεις αυτές είναι ταυτόχρονες για τον παρατηρητή του S, και έτσι είναι ταυτόχρονες και για τον παρατηρητή του S′, $t_1' = t_2'$. Για τον παρατηρητή του S′ η απόσταση αυτών των δύο γεγονότων στο χώρο είναι,

$$l' = \sqrt{\left(x_2' - x_1'\right)^2 + \left(y_2' - y_1'\right)^2 + \left(z_2' - z_1'\right)^2}$$

όπου οι συντεταγμένες των δύο αυτών γεγονότων στο S και στο S′ συνδέονται με τους τύπους (3.1), επιπλέον ισχύει και $t_1 = t_2$ ή $t_1' = t_2'$. Έτσι προκύπτει ότι $l = l'$, η απόσταση δηλαδή δύο γεγονότων στο χώρο είναι η ίδια για κάθε αδρανειακό παρατηρητή. Άρα ο χώρος είναι παγκόσμιος. Να σημειωθεί ότι για τη μέτρηση της απόστασης πρέπει να κάνουμε ταυτόχρονες παρατηρήσεις.

Ο δεύτερος νόμος του Νεύτωνα στο σύστημα S εκφράζεται υπό τη μορφή των εξισώσεων

$$m\ddot{x} = F_x$$

$$m\ddot{y} = F_y \qquad (3.2)$$

$$m\ddot{z} = F_z$$

όπου F_x, F_y, F_z οι συνιστώσες της δύναμης.

Μετασχηματίζουμε τώρα τις εξισώσεις (3.2) στο σύστημα S′ με τη βοήθεια των εξισώσεων μετασχηματισμού (3.1) και έχουμε

$$\ddot{x}' = \frac{d^2}{dt^2}(x - \upsilon t) = \ddot{x},$$

$$\ddot{y}' = \ddot{y},\ \ddot{z}' = \ddot{z}$$

επίσης

$$F_x' = F_x\,,\ F_y' = F_y\,, F_z' = F_z$$

διότι οι άξονες των συστημάτων Oxyz και O′x′y′z′ είναι παράλληλοι (σχήμα 3.1). Άρα τελικά οι εξισώσεις (3.2) παίρνουν τη μορφή στο αδρανειακό σύστημα S′,

$$m\ddot{x}' = F_x'$$

$$m\ddot{y}' = F_y' \qquad (3.3)$$

$$m\ddot{z}' = F_z'$$

Προκύπτει από τη σύγκριση των εξισώσεων (3.2) και (3.3) ότι οι τύποι μετασχηματισμού του Γαλιλαίου αφήνουν αναλλοίωτη τη μαθηματική μορφή του δεύτερου νόμου του Νεύτωνα. Δηλαδή ο δεύτερος νόμος του Νεύτωνα ισχύει για όλα τα αδρανειακά συστήματα και έτσι δεν είναι δυνατό να διακρίνουμε κάποιο προνομιακό σύστημα αναφοράς με οποιοδήποτε μηχανικό πείραμα. Κατά συνέπεια, όλα τα αδρανειακά συστήματα είναι ισοδύναμα για τη μελέτη των νόμων της Μηχανικής.

3.1.2 Η ειδική θεωρία της σχετικότητας

Η ειδική σχετικότητα είναι μια θεωρία της δομής του χωροχρόνου, που δημοσίευσε ο Άλμπερτ Αϊνστάιν (Albert Einstein) πριν από εκατό περίπου χρόνια, το 1905, σε ηλικία 26 μόλις χρόνων.

Η εργασία αυτή τεράστιας επιστημονικής αξίας βασίζεται σε δύο βασικά αξιώματα που είναι αντίθετα με την κλασική μηχανική, με τα οποία ο Einstein θεμελιώνει τη θεωρία του:

- Οι νόμοι της φυσικής είναι οι ίδιοι για όλους τους παρατηρητές που βρίσκονται σε αδρανειακό σύστημα αναφοράς (ακίνητους παρατηρητές ή παρατηρητές που κινούνται με σταθερή ταχύτητα).

- Η ταχύτητα του φωτός στο κενό είναι ίδια για όλους τους παρατηρητές, ανεξαρτήτως της σχετικής τους κίνησης ή της κίνησης της πηγής του φωτός[1].

Η θεωρία της σχετικότητας άλλαξε την αντίληψή μας για τον κόσμο. Βλέπουμε βασικές έννοιες όπως ο χώρος, ο χρόνος, η ύλη και η ενέργεια με διαφορετικό τρόπο.

Έτσι η χρονική διάρκεια ενός φαινομένου εξαρτάται από το σύστημα αναφοράς από το οποίο παρατηρούμε το φαινόμενο. Κάθε σύστημα αναφοράς έχει το δικό του χρόνο που λέγεται ιδιόχρονος. Για παράδειγμα, ο χρόνος που διαρκεί ένα φαινόμενο σε ένα πύραυλο που κινείται με πολύ μεγάλη ταχύτητα μετράται διαφορετικά από κάποιον επιβάτη του πυραύλου και διαφορετικά από κάποιον που είναι ακίνητος εκτός του πυραύλου. Μεγαλύτερη διάρκεια υπολογίζει ο δεύτερος παρατηρητής. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό ως «διαστολή του χρόνου» (βλέπε πίνακα 3.3, σελ. 114). Ανάλογο φαινόμενο είναι το φαινόμενο της «συστολής του μήκους» όπου τα αντικείμενα παρατηρούνται να μικραίνουν στην κατεύθυνση που κινούνται σε σχέση με τον παρατηρητή.

Ένα άλλο φαινόμενο, συνέπεια της θεωρίας, είναι αυτό της σχετικότητας της ταυτοχρονικότητας: δύο γεγονότα που φαίνονται να συμβαίνουν ταυτόχρονα σε ένα παρατηρητή Α, δεν θα συμβαίνουν ταυτόχρονα για ένα παρατηρητή Β, εάν ο Β κινείται σε σχέση με τον Α.

Ακόμη ο Einstein δεν αντιμετωπίζει την ύλη και την ενέργεια ως ξεχωριστές έννοιες. Δέχεται ότι η μία μπορεί να μετατρέπεται στην άλλη ($E = mc^2$). Αυτή η ισοδυναμία μάζας – ενέργειας φαίνεται στο χαρακτηριστικό φαινόμενο της εξαΰλωσης, όπου δύο σωματίδια, το ηλεκτρόνιο και το ποζιτρόνιο, συγκρούονται και εξαφανίζονται και τα δύο και απελευθερώνεται ένα αντίστοιχο ποσό ενέργειας. Βλέπουμε ότι η ύλη μπορεί να μετατρέπεται σε ενέργεια. Επίσης, μπορεί να συμβεί και το αντίστροφο φαινόμενο, δηλαδή η μετατροπή της ενέργειας σε ύλη (δίδυμη γένεση).

1. Στηριζόμενος στις παρατηρήσεις που έγιναν στους διπλούς αστέρες, ο Ολλανδός αστρονόμος De Sitter μπόρεσε να δείξει ότι η ταχύτητα μετάδοσης του φωτός δεν μπορεί να εξαρτάται από την ταχύτητα με την οποία κινείται η φωτεινή πηγή (βλέπε σύγγραμμα του Αϊνσταϊν, Α. «*Η θεωρία της σχετικότητας*». Μετάφραση Σταύρος Μαρουλάκος, εκδόσεις Κορόντζη, σ. 20).

Πίνακας 3.3: Δείχνει τις μετατοπίσεις του χρόνου για παρατηρητές που κινούνται σε σχέση με άλλους που είναι ακίνητοι.

Αν ένα διαστημόπλοιο επιταχυνόταν συνεχώς με ένα g (1g = 9,81 μέτρα ανά δευτερόλεπτο) και στα μισά της υποτιθέμενης διαδρομής φρενάριζε με -1g, θα προέκυπταν ανάμεσα στο πλήρωμα του πυραύλου και στους κατοίκους της Γης, που μένουν πίσω, οι ακόλουθες μετατοπίσεις του χρόνου:

Χρόνια για το πλήρωμα του πυραύλου	**Χρόνια για τους κατοίκους της Γης που μένουν πίσω**
1	2,0
2	2,1
5	6,5
10	24
15	80
20	270
25	910
30	3100
35	10 600
40	36 000
45	121 000
50	420 000

Αυτός ο πίνακας από το «Εγχειρίδιο για το Σύμπαν», του Μάγιερ, αποδεικνύει πως οι τεράστιες μετατοπίσεις του χρόνου ανάμεσα στο πλήρωμα του πυραύλου και του πλανήτη της εκκίνησης, επιδρούν μόνο όταν η διάρκεια του ταξιδιού είναι αρκετά μεγάλη. Τα αποτελέσματα όμως είναι φανταστικά: για το πλήρωμα του επιταχυνόμενου με 1g διαστημόπλοιου περνούν μόλις 40 χρόνια, ενώ στη Γη κυλάνε 36.000 χρόνια.

Το φαινόμενο της διαστολής του χρόνου, όπως είδαμε, επιτρέπει τα ταξίδια μπροστά στο χρόνο (στο μέλλον). Απλά το διαστημόπλοιο πρέπει να τρέχει με ταχύτητα συγκρίσιμη με εκείνη του φωτός, διαφορετικά, το κέρδος που προκύπτει από τη «διαστολή» του χρόνου είναι αμελητέο.

Για ένα διαστημόπλοιο όμως που κινείται με ταχύτητες ωφέλιμες για ταξίδια στο μέλλον, παραμένει το πρόβλημα της δομικής συνοχής του σκάφους, όπως επίσης και των επιβατών του. Επιπλέον ένα άλλο θέμα είναι ότι ακόμη και αν τα δύο αυτά προβλήματα επιλύονταν, θα παρέμενε το ζήτημα της επιβράδυνσης του σκάφους. Για τα πιο πάνω έχουν προταθεί λύσεις, οι οποίες περιλαμβάνουν τη σταδιακή επιτάχυνση και επιβράδυνση του σκάφους. Ένα τέτοιο σκάφος θα αποκτούσε την κινητική του ενέργεια καταναλώνοντας καύσιμα ύλης-αντιύλης*. Το θέμα είναι ότι προς το παρόν μπορούμε να παράγουμε αντιύλη μόνο ένα άτομο τη φορά. Έστω και αν επιτυγχάναμε την μαζική παραγωγή της, θα έπρεπε να βρούμε μια μέθοδο για την ασφαλή αποθήκευσή της, όπως επίσης και ένα τρόπο ψύξης των μηχανών του σκάφους. Παρ΄ όλες τις δυσκολίες που προκύπτουν, κάποια στιγμή τα ταξίδια στο μέλλον ενδεχομένως θα είναι εφικτά.

<u>Σημείωση</u>: Εάν για την κατασκευή ενός σκάφους που θα τρέχει με ταχύτητες συγκρίσιμες - και φυσικά χαμηλότερες - από εκείνη του φωτός, τα προβλήματα είναι ανυπέρβλητα στο παρόν στάδιο, φανταστείτε πόσο μακριά βρισκόμαστε από την επινόηση μιας μεθόδου μετακίνησης με ακόμα μεγαλύτερες ταχύτητες.

---

*Με την αντιύλη, θα μπορούσαμε να εκμεταλλευτούμε το σύνολο της ισοδύναμης ενέργειας της ύλης, αντί για τα μικρά ποσοστά που δίνουν η χημική ενέργεια ή οι πυρηνικές αντιδράσεις που χρησιμοποιούνται σήμερα. Η αντίδραση 1 kg αντιύλης με 1 kg ύλης θα παρήγαγε 1.8×10^{17} J ενέργειας (σύμφωνα με την εξίσωση $E = mc^2$). Σε αντίθεση, η καύση ενός χιλιόγραμμου πετρελαίου παράγει 4.2×10^{7} J και η πυρηνική σύντηξη ενός χιλιόγραμμου υδρογόνου θα παρήγαγε 2.6×10^{15} J.

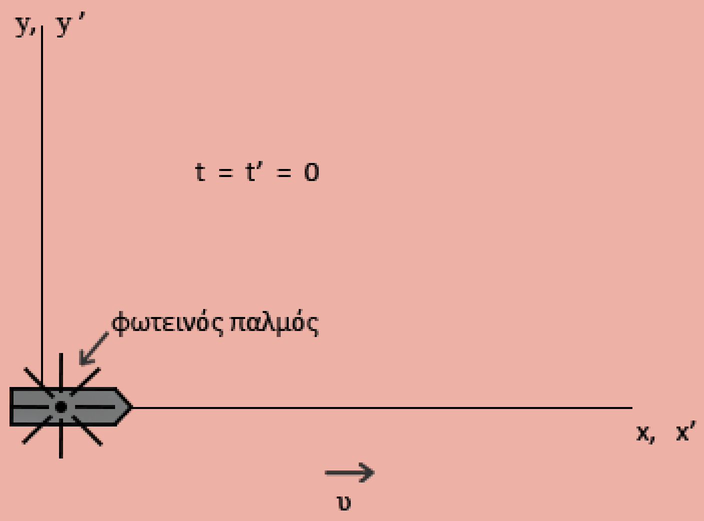
Είδαμε κάποια μόνο από τα σημεία της θεωρίας, η οποία περιγράφεται από μαθηματικά ανωτέρου επιπέδου (μετασχηματισμοί του Λόρεντζ). Συγκεκριμένα, οι αποκλίσεις μεταξύ δύο παρατηρητών στον παρατηρούμενο χρόνο και τα παρατηρούμενα μήκη για ένα σύστημα χωροχρόνου με σταθερή ταχύτητα του φωτός για όλους τους παρατηρητές δίνονται από τους μετασχηματισμούς του Λόρεντζ. Η θεωρία αυτή επιβεβαιώνεται και πειραματικά: Το χρονικό διάστημα μεταξύ δύο κτυπημάτων του ρολογιού ίσως είναι μια ώρα αν κάθεται κάποιος ακίνητος, αλλά θα είναι μικρότερο από μια ώρα εάν κινείται. Η χρονική διαφορά είναι απειροελάχιστη - μόλις μερικές εκατοντάδες εκατομμυριοστά του δευτερολέπτου - πολύ μικρή ώστε να γίνει αντιληπτή από τον κοινό ανθρώπινο νου. Ωστόσο, μπορεί να μετρηθεί από σύγχρονα ρολόγια.

Η ειδική θεωρία της σχετικότητας εισάγει επίσης τις έννοιες της μάζας ηρεμίας και της μάζας αδρανείας για κάθε παρατηρούμενο σώμα. Ο διαχωρισμός αυτός οφείλεται στο ότι η παρατηρούμενη μάζα ενός σώματος εξαρτάται από την ταχύτητά του σε σχέση με τον παρατηρητή. Μάζα ηρεμίας είναι η μάζα του σώματος, όταν αυτό είναι ακίνητο σε σχέση με κάποιον παρατηρητή, και μάζα αδρανείας η παρατηρούμενη μάζα όταν το σώμα κινείται. Όσο μεγαλύτερη είναι η παρατηρούμενη ταχύτητα ενός σώματος, τόσο μεγαλύτερη είναι και η παρατηρούμενη μάζα του. Είναι αδύνατο ένα σώμα να έχει μάζα και να κινείται με την ταχύτητα του φωτός, καθώς σε αντίθετη περίπτωση η μάζα αδρανείας του θα πρέπει να είναι άπειρη, ανεξαρτήτως του μεγέθους της μάζας ηρεμίας.

3.1.2.1 Τύποι μετασχηματισμού του Lorentz

Ο μετασχηματισμός του Γαλιλαίου (βλέπε σελ. 107 - 109) δεν ισχύει όταν το υ προσεγγίζει την ταχύτητα του φωτός. Σε αυτό το υποκεφάλαιο, θα υπολογίσουμε τις σωστές εξισώσεις μετασχηματισμού που ισχύουν για όλες τις ταχύτητες στην περιοχή $0 \leq υ < c$. Αυτός ο μετασχηματισμός, που είναι γνωστός ως μετασχηματισμός Lorentz, αναπτύχθηκε από τον H.A. Lorentz (1853-1928) το 1890, αλλά, η πραγματική σημασία του σε μια φυσική θεωρία αναγνωρίστηκε πρώτα από τον Einstein.

Θα εξαγάγουμε τον μετασχηματισμό Lorentz θεωρώντας έναν πύραυλο ο οποίος κινείται κατά μήκος των αξόνων xx' με ταχύτητα υ, (βλέπε σχήμα 3.4 α)

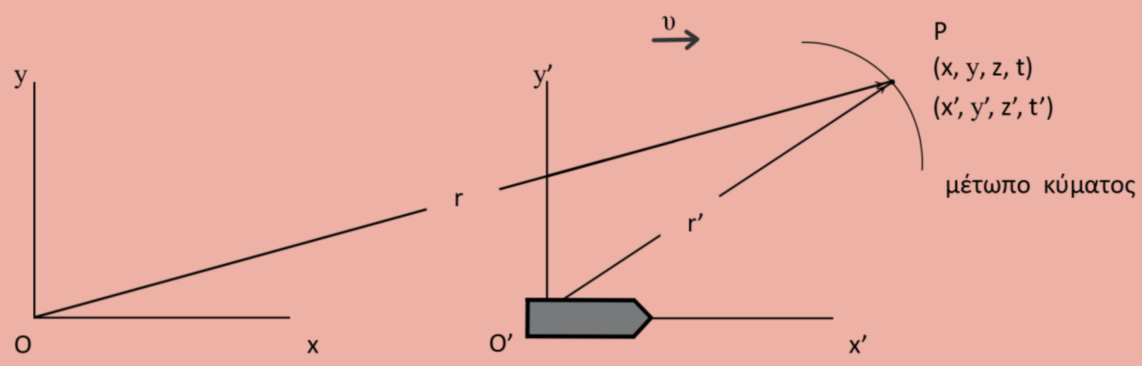


Σχήμα 3.4: Ένας πύραυλος κινείται με ταχύτητα υ κατά μήκος των αξόνων xx'. α) Ένας φωτεινός παλμός εκπέμπεται από τον πύραυλο τη στιγμή $t = t' = 0$, όταν τα δύο συστήματα συμπίπτουν.

Για έναν παρατηρητή στο σύστημα S' του πυραύλου έχουμε τις συντεταγμένες (x', y', z', t'), ενώ για τον ακίνητο παρατηρητή στο S έχουμε τις συντεταγμένες (x, y, z, t). Ένας λαμπτήρας που υπάρχει στον πύραυλο εκπέμπει έναν φωτεινό παλμό τη στιγμή που οι αρχές των δύο συστημάτων συμπίπτουν. Ορίζουμε ότι $t = t' = 0$, τη στιγμή που συμβαίνει αυτό.

Το φωτεινό σήμα που προκύπτει διαδίδεται ως ένα σφαιρικό κύμα. Ως κέντρο του μετώπου του κύματος θεωρείται το σταθερό σημείο Ο, απ' όπου ξεκινά να εκπέμπεται ο παλμός.

Αφού λοιπόν περάσει κάποιο χρονικό διάστημα, ένα σημείο όπως το P στο σφαιρικό μέτωπο κύματος απέχει απόσταση r από το Ο και r′ από το Ο′ (βλ. σχήμα 3.4 β).



Σχήμα 3.4: β) Συντεταγμένες κάποιου σημείου P σε ένα εκτεινόμενο σφαιρικό μέτωπο, όπως μετρούνται από παρατηρητές και στα δύο αδρανειακά συστήματα. (Αυτό το διάγραμμα είναι εντελώς σχηματικό και αναπαριστά μόνο τις δυο διαστάσεις).

Σύμφωνα όμως με το δεύτερο αξίωμα του Einstein και για τους δύο παρατηρητές η ταχύτητα του φωτός πρέπει να είναι ίδια (υ = c). Έτσι η απόσταση OP όπως την μετρά ο ακίνητος παρατηρητής (S) θα είναι $r = ct$, ενώ για τον κινούμενο παρατηρητή (S′) η απόσταση O′P θα είναι $r' = ct'$,

Συνεπώς έχουμε:

$$r = ct \qquad : (3.4)$$

$$r' = ct' \qquad : (3.5)$$

Δεχόμενοι το δεύτερο αξίωμα του Einstein οι χρόνοι t και t' που χρειάζεται το φως για να φθάσει στο P θα πρέπει να είναι και αυτοί διαφορετικοί. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με τον μετασχηματισμό του Γαλιλαίου, όπου $t = t'$.

Παίρνουμε τώρα την ακτίνα σφαίρας η οποία δίνεται από τη σχέση: $r^2 = x^2 + y^2 + z^2$ για τον ακίνητο παρατηρητή στο S, αφού το φωτεινό σήμα διαδίδεται ως ένα σφαιρικό κύμα. Με τον ίδιο τρόπο, η απόσταση r' που μετρείται από τον κινούμενο παρατηρητή στο S' δίνεται από τη σχέση:

$(r')^2 = (x')^2 + (y')^2 + (z')^2$.

Έτσι αν υψώσουμε στο τετράγωνο τις εξισώσεις (3.4) και (3.5) έχουμε τελικά:

Παρατηρητής στο S : $x^2 + y^2 + z^2 = c^2t^2$: (3.6)

Παρατηρητής στο S': $(x')^2 + (y')^2 + (z')^2 = c^2(t')^2$: (3.7)

Γνωρίζοντας ότι δεν υπάρχει κίνηση στους άξονες y και z και δεδομένου ότι η κίνηση του S' είναι κατά μήκος των αξόνων xx', παρατηρούμε ότι οι συντεταγμένες y και z που μετρούνται στα δύο συστήματα είναι πάντα ίσες, κάτι που σημαίνει ότι δεν επηρεάζονται από την κίνηση κατά μήκος του άξονα χ, οπότε:

$y = y'$ και $z = z'$.

Έτσι αν αφαιρέσουμε την εξίσωση (3.7) από την εξίσωση (3.6) βλέπουμε ότι:

$$x^2 - c^2t^2 = (x')^2 - c^2(t')^2 \quad : (3.8)$$

Στην συνέχεια με αλγεβρικές πράξεις, χρησιμοποιώντας τη σχέση (3.8) και δεχόμενοι ότι στο $x = \upsilon t$ αντιστοιχεί $x' = 0$, καταλήγουμε τελικά στις σχέσεις για τα x' και t':

$$x' = \frac{x - \upsilon t}{\sqrt{1 - \frac{\upsilon^2}{c^2}}} \quad : (3.9)$$

$$t' = \frac{t - \left(\frac{\upsilon}{c^2}\right)x}{\sqrt{1 - \frac{\upsilon^2}{c^2}}} \quad : (3.10)$$

Τέλος, στο σημείο αυτό, για τη μετάβαση από το S στο S′, μπορούμε να συνοψίσουμε τις εξισώσεις μετασχηματισμού ως εξής:

$$x' = \frac{x - \upsilon t}{\sqrt{1 - \frac{\upsilon^2}{c^2}}} = \gamma(x - \upsilon t)$$

$$y' = y \qquad : (3.11)$$

$$z' = z$$

$$t' = \frac{t - \left(\frac{\upsilon}{c^2}\right)x}{\sqrt{1 - \frac{\upsilon^2}{c^2}}} = \gamma\left(t - \frac{\upsilon}{c^2}x\right)$$

όπου $\gamma \equiv \dfrac{1}{\sqrt{1 - \frac{\upsilon^2}{c^2}}}$

αυτοί οι τύποι που ονομάζονται **τύποι μετασχηματισμού του Lorentz** είναι αντίστοιχοι των τύπων μετασχηματισμού (3.1) του Γαλιλαίου. Επίσης συνάδουν με τον νόμο διαδόσεως του φωτός.

Παρατηρούμε ότι για $\upsilon \ll c$, οι τύποι αυτοί συμπίπτουν πρακτικά με τους τύπους (3.1).

Οι τύποι μετασχηματισμού του Lorentz είναι γραμμικοί μετασχηματισμοί μεταξύ των συντεταγμένων (x, y, z, t) και (x', y', z', t') ενός γεγονότος σε δύο αδρανειακά συστήματα S και S′ αντίστοιχα, και μπορούν να γραφούν υπό μορφή πινάκων ως

$$x' = L(\upsilon)x$$

<u>Σημείωση</u>: γραμμικοί μετασχηματισμοί ονομάζονται συναρτήσεις από έναν διανυσματικό χώρο σε έναν άλλον, τέτοιες ώστε να διατηρούν αναλλοίωτη τη δομή του.

όπου ,

$$x = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ t \end{pmatrix}, \qquad x' = \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ t' \end{pmatrix}$$

και

$$L(\upsilon) = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{1-\frac{U^2}{C^2}}} & 0 & 0 & \frac{U}{\sqrt{1-\frac{U^2}{C^2}}} \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ \frac{-U/C^2}{\sqrt{1-\frac{U^2}{C^2}}} & 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{1-\frac{U^2}{C^2}}} \end{pmatrix}$$

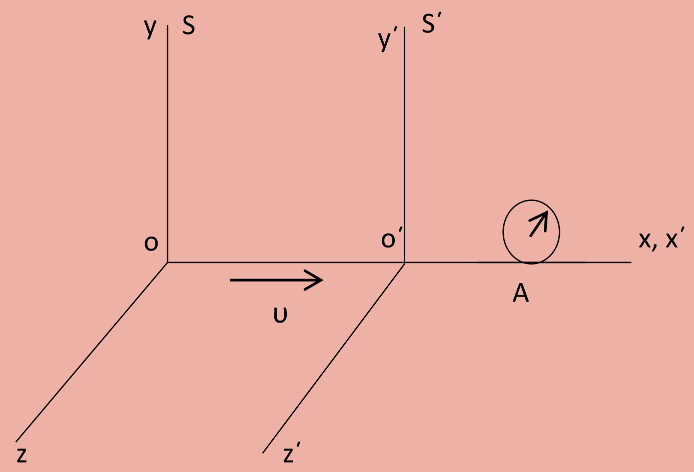
Ο πίνακας L(υ) ονομάζεται πίνακας του Lorentz.

3.1.2.2 Συνέπειες της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας

(α) Διαστολή του χρόνου

Προκειμένου να δείξουμε ότι ο χρόνος δεν ρέει με τον ίδιο ρυθμό για δύο διαφορετικούς αδρανειακούς παρατηρητές θα θεωρήσουμε δύο αδρανειακά συστήματα S και S′, όπου το S′ κινείται ως προς το S με σταθερή ταχύτητα υ και θα πάρουμε τους άξονες Oxyz και $O'x'y'z'$ όπως φαίνεται στο σχήμα 3.5. Στο κάθε ένα από αυτά τα συστήματα για τη μέτρηση του χρόνου, υπάρχουν παρατηρητές οι οποίοι έχουν πανομοιότυπα ρολόγια. Αυτό που θα μελετήσουμε είναι τον τρόπο που βλέπει ένας παρατηρητής στο S τους κτύπους του ρολογιού στο σύστημα S′, σε σύγκριση με το δικό του ρολόι.

Ας υποθέσουμε ότι στο σημείο Α (x_o', 0, 0) του άξονα $O'x'$ του S′ υπάρχει ένα ρολόι και θεωρούμε δύο διαδοχικούς κτύπους, τις στιγμές t_1' και t_2', αντίστοιχα. Οι κτύποι αυτοί αντιστοιχούν σε δύο γεγονότα με συντεταγμένες ως προς το S′: 1ο γεγονός: $x_o', 0, 0, t_1'$, 2ο γεγονός: $x_o', 0, 0, t_2'$



Σχήμα 3.5: Τα αδρανειακά συστήματα S και S′ και το ρολόι στο σημείο Α του S′.

Με τα δικά του μήκη και ρολόγια, αυτούς τους κτύπους τους παρατηρεί και ο παρατηρητής του συστήματος S, και βρίσκει ότι τα δύο αυτά γεγονότα αντιστοιχούν στις συντεταγμένες ως προς S,

1ο γεγονός: $x_1, 0, 0, t_1$

2ο γεγονός: $x_2, 0, 0, t_2$

Οι συντεταγμένες των αντίστοιχων γεγονότων στα συστήματα S και S′ συνδέονται με τους τύπους μετασχηματισμού του Lorentz. Συγκεκριμένα, παίρνοντας την 4η εξίσωση του αντίστροφου μετασχηματισμού του Lorentz έχουμε

για το πρώτο γεγονός

$$t_1 = \frac{t_1' + \upsilon x_o'/c^2}{\sqrt{1-\upsilon^2/c^2}}$$

και για το δεύτερο γεγονός

$$t_2 = \frac{t_2' + \upsilon x_o'/c^2}{\sqrt{1-\upsilon^2/c^2}}$$

Από τις σχέσεις αυτές παίρνουμε αφαιρώντας κατά μέλη

$$\Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1-\upsilon^2/c^2}} \qquad (3.22)$$

όπου $\Delta t = t_2 - t_1$, $\Delta t' = t_2' - t_1'$

Δηλαδή αν $\Delta t'$ είναι η χρονική διαφορά μεταξύ δύο διαδοχικών κτύπων του ρολογιού στο σύστημα S', που ουσιαστικά εκφράζει το ρυθμό του, η διαφορά αυτή παρατηρείται από τον παρατηρητή στο S ότι ισούται προς Δt, και από τον τύπο (3.22) είναι

$$\Delta t > \Delta t'$$

Αυτό σημαίνει ότι η χρονική απόσταση των δύο κτύπων του ρολογιού στο S' φαίνεται ότι είναι μεγαλύτερη, συγκρινόμενη με τα ρολόγια του παρατηρητή στο S. Δηλαδή επιβραδύνεται το κινούμενο ρολόι ως προς τον παρατηρητή στο S, συγκρινόμενο με το δικό του πανομοιότυπο ρολόι. Αυτό το φαινόμενο ονομάζεται διαστολή του χρόνου.

(i) Το παράδοξο των διδύμων

Ας υποθέσουμε ότι έχουμε δύο δίδυμα αδέλφια A και A′, από τα οποία ο ένας αδελφός, ο A, βρίσκεται στο σύστημα S, ενώ ο άλλος αδελφός ο A′, στο S′ και ταξιδεύει ως προς το σύστημα S, με ταχύτητα υ (σχήμα 3.5 από διαστολή του χρόνου). Ο κάθε ένας από τα αδέλφια μπορεί να θεωρηθεί ως ένα βιολογικό ρολόι, παίρνοντας τους χτύπους της καρδιάς τους ως χτύπους του «ρολογιού». Ως παράδειγμα ας υποθέσουμε ότι:

$$\upsilon = \frac{\sqrt{3}}{2}\mathrm{c}.$$

Ο «ακίνητος» παρατηρητής A παρακολουθεί τον αδελφό του A′, που κάνει ένα μακρινό ταξίδι και επιστρέφει. Σύμφωνα με τον τύπο (3.22) από διαστολή του χρόνου

$$\Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1-\upsilon^2/c^2}}$$

ο A μετράει ότι σε κάθε ένα χτύπο της καρδιάς του αδελφού του, η δική του καρδιά κάνει δυο χτύπους. Επομένως καταλήγει στο συμπέρασμα ότι ο αδελφός του, ο A′, γερνάει με το μισό ρυθμό από ότι αυτός και άρα περιμένει ότι όταν θα συναντηθούν, π.χ. μετά από δέκα χρόνια (με τον χρόνο του συστήματος S), ο αδελφός του, ο A′, θα έχει γεράσει μόνο κατά 5 χρόνια! Όμως και ο A′ κάνει τον ίδιο συλλογισμό, θεωρεί τον εαυτό του «ακίνητο» και τον αδελφό του A να κινείται ως προς αυτόν, καταλήγοντας σε αντίστοιχο συμπέρασμα. Ο A′ δηλαδή περιμένει ότι ο αδελφός του θα είναι νεότερος όταν ξανασυναντηθούν.

Αυτό το παράδοξο συμπέρασμα είναι συνέπεια του γεγονότος ότι εφαρμόσαμε τον τύπο της διαστολής του χρόνου (3.22) για όλη τη διάρκεια του ταξιδιού του A' (ή του A), για τη μετάβαση και την επιστροφή. Επειδή όμως η κίνηση δεν είναι ευθύγραμμη, αλλά υπάρχει επιτάχυνση στη διαδικασία της στροφής για την επιστροφή, φεύγουμε από αδρανειακό σύστημα και συνεπώς ο τύπος (3.22) δεν ισχύει παντού. Το παράδοξο μπορεί να ερμηνευθεί με τη γενική θεωρία της σχετικότητας, όπου οι δύο παρατηρητές A και A' δεν είναι ισότιμοι από δυναμικής απόψεως, αλλά μόνο από γεωμετρικής. Ο παρατηρητής που πραγματικά υφίσταται την επιτάχυνση, για να πραγματοποιήσει την επιστροφή του, είναι εκείνος για τον οποίο επιβραδύνεται ο χρόνος. Στην πραγματικότητα ο χρόνος που μετρά ο παρατηρητής A' είναι ο ίδιος χρόνος τ, ο οποίος συνδέεται με τον χρόνο t του παρατηρητή A με τη σχέση

$$d\tau = dt\sqrt{1-\upsilon^2/c^2}$$

Ο συνολικός χρόνος για τον A' είναι το επικαμπύλιο ολοκλήρωμα $\int d\tau$ κατά μήκος της κοσμικής γραμμής του στο χωρόχρονο x, ct.

Σημείωση: Κοσμική γραμμή είναι η τροχιά ενός σώματος στο χώρο Minkowski (βλέπε σελ. 135).

(β) Συστολή του μήκους

Προκειμένου να αποδείξουμε ότι το μήκος ενός αντικειμένου εξαρτάται από το σύστημα αναφοράς του παρατηρητή θα θεωρήσουμε δύο αδρανειακά συστήματα S και S' και τα συστήματα συντεταγμένων Oxyz και $O'x'y'z'$, αντίστοιχα, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.6. Επί του άξονα $O'x'$ θεωρούμε μια στερεά ράβδο με τα άκρα της στις θέσεις $A({x_1}')$ και $B({x_2}')$. Για τον παρατηρητή στο σύστημα S' το μήκος της ράβδου είναι ίσο προς

$$l' = x_2' - x_1' \qquad (3.23)$$

Το μήκος της ράβδου AB θέλει να το μετρήσει και ο παρατηρητής του συστήματος S. Για το λόγο αυτό πρέπει να κάνει δύο ταυτόχρονες παρατηρήσεις των άκρων A και B. Την κάθε παρατήρηση την θεωρούμε ένα γεγονός με συντεταγμένες ως προς το S,

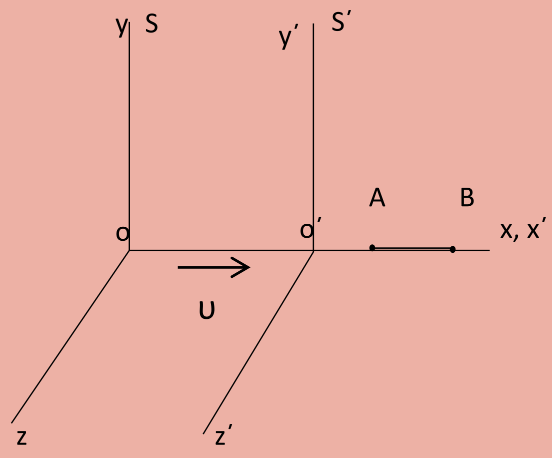
$$\text{άκρο A: } x_1, 0, 0, t_1$$

$$\text{άκρο B: } x_2, 0, 0, t_2 = t_1$$

Τα δύο γεγονότα (οι παρατηρήσεις των άκρων A και B), έχουν τις εξής συντεταγμένες για το σύστημα S':

$$\text{άκρο A: } {x_1}', 0, 0, {t_1}'$$

$$\text{άκρο B: } {x_2}', 0, 0, {t_2}'$$



Σχήμα 3.6: τα αδρανειακά συστήματα S και S′ και η ράβδος AB στον άξονα $O'x'$ του S′

Παρατηρούμε ότι το ταυτόχρονο των δύο αυτών γεγονότων στο σύστημα S ($t_1 = t_2$) δεν σημαίνει και το ότι τα δύο αυτά γεγονότα είναι ταυτόχρονα στο S′, δηλαδή $t_1' \neq t_2'$. Το μήκος της ράβδου για τον παρατηρητή S είναι ίσο προς

$$l = x_2 - x_1 \qquad (3.24)$$

Οι συντεταγμένες των αντίστοιχων γεγονότων που αναφέραμε πιο πάνω, στα συστήματα S και S′, συνδέονται με τους τύπους μετασχηματισμού Lorentz. Ειδικότερα με την εξίσωση

$$x' = \frac{x - \upsilon t}{\sqrt{1 - \frac{\upsilon^2}{c^2}}}$$

έχουμε για το γεγονός της μέτρησης του άκρου Α, τη σχέση

$$x'_1 = \frac{x_1 - \upsilon t_1}{\sqrt{1 - \frac{\upsilon^2}{c^2}}}$$

και για το γεγονός της μέτρησης του άκρου Β, τη σχέση (λόγω του ότι $t_2 = t_1$)

$$x'_2 = \frac{x_2 - \upsilon t_1}{\sqrt{1 - \frac{\upsilon^2}{c^2}}}$$

Αν αφαιρέσουμε κατά μέλη τις δύο αυτές σχέσεις και λαμβάνοντας υπόψη τις σχέσεις (3.23) και (3.24), έχουμε τελικά

$$l = l'\sqrt{1 - \frac{\upsilon^2}{c^2}} \quad (3.25)$$

και είναι φανερό ότι

$$l < l'$$

Σύμφωνα με τον τύπο (3.25) το μήκος μιας ράβδου, η οποία κινείται με σταθερή ταχύτητα υ, κατά μήκος της κύριας διεύθυνσης της ως προς ένα παρατηρητή, είναι μικρότερο από αυτό που μετρά ο παρατηρητής που είναι ακίνητος ως προς τη ράβδο. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται συστολή του μήκους.

3.1.2.3 Ισοδυναμία μάζας ενέργειας ($E = mc^2$)

Η ισοδυναμία μάζας ενέργειας είναι το συμπέρασμα στο οποίο κατέληξε ο Albert Einstein με τη φυσική ερμηνεία της εξίσωσης $E = mc^2$. Στη Φυσική, η ισοδυναμία μάζας – ενέργειας εκφράζει την έννοια ότι η μάζα ενός σώματος αποτελεί μέτρο του ενεργειακού του περιεχομένου.

Η θεωρία της σχετικότητας προβλέπει ότι κάθε σώμα έχει ενέργεια εξαιτίας της μάζας του. Όταν το σώμα είναι ακίνητο αυτή ισούται με $E = mc^2$, η οποία ονομάστηκε από τον Einstein ενέργεια μάζας ηρεμίας. Η ενέργεια που οφείλεται στη μάζα ενός σώματος είναι το άθροισμα της κινητικής ενέργειας και της ενέργειας μάζας ηρεμίας.

Στην προσπάθειά μας να αποδείξουμε την ισοδυναμία μάζας ενέργειας ($E=mc^2$) θα χρησιμοποιήσουμε την παραδοχή ότι η «μάζα» ενός αντικειμένου αυξάνεται όσο η ταχύτητά του πλησιάζει την ταχύτητα του φωτός. Δεν μπορεί όμως να την φτάσει, γιατί τότε η μάζα του γίνεται άπειρη. Αυτό δεν σημαίνει όμως ότι η μάζα «φουσκώνει», αλλά ότι η αδράνειά της αυξάνεται, όσο δηλαδή επιταχύνεται μια μάζα και πλησιάζει την ταχύτητα του φωτός, η δύναμη που χρειάζεται για να την επιταχύνει λίγο ακόμα αυξάνεται με τρομακτικό ρυθμό, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει δύναμη αρκετά μεγάλη στο Σύμπαν για να της προσδώσει ακριβώς την ταχύτητα αυτή. Κάτι που έχει επιβεβαιωθεί και στους επιταχυντές σωματιδίων. Συγκεκριμένα, η μάζα εξαρτάται από την ταχύτητα βάσει του τύπου της Θεωρίας της Σχετικότητας:

Η Μάζα $(m) = m_0/\sqrt{1 - \upsilon^2/c^2}$ * (3.26)

όπου m_0 η μάζα ηρεμίας του σώματος, που ισούται με την μάζα που μετράει ένας παρατηρητής για τον οποίο το σώμα βρίσκεται σε ηρεμία.

Στη συνέχεια χρησιμοποιούμε το διωνυμικό θεώρημα στη μορφή

$(1 + x)^n = 1 + nx + n(n - 1)x^2/2 + \ldots$ για τον παρονομαστή του δεύτερου μέλους της σχέσης (3.26). Στην περίπτωση μας ισχύει: $n = -1/2$, $x = \upsilon^2/c^2$ και για πολύ μικρές ταχύτητες ως προς την ταχύτητα του φωτός (c), παίρνουμε

$1/\sqrt{1 - \upsilon^2/c^2} = 1 + \frac{1}{2}\upsilon^2/c^2$ (3.27), τέλος αν πολλαπλασιάσουμε και τις δύο πλευρές της (3.26) με c^2 (ώστε όλοι οι όροι να έχουν μονάδες ενέργειας) έχουμε $mc^2 = m_0 \; c^2/\sqrt{1 - \upsilon^2/c^2}$, χρησιμοποιώντας και τη σχέση (3.27) προκύπτει ότι:

$$mc^2 = m_0 \, c^2 \left(1 + \frac{1}{2}\upsilon^2/c^2\right)$$

$$\therefore \quad mc^2 = m_0 \, c^2 + \frac{m_0 \, \upsilon^2 \, \not{c}^2}{2\not{c}^2} \quad \Rightarrow$$

$mc^2 = m_0c^2$ (ενέργεια ηρεμίας) $+ 1/2 \; m_0\upsilon^2$ (κλασική κινητική ενέργεια) $\Rightarrow$

E συν. $= mc^2$

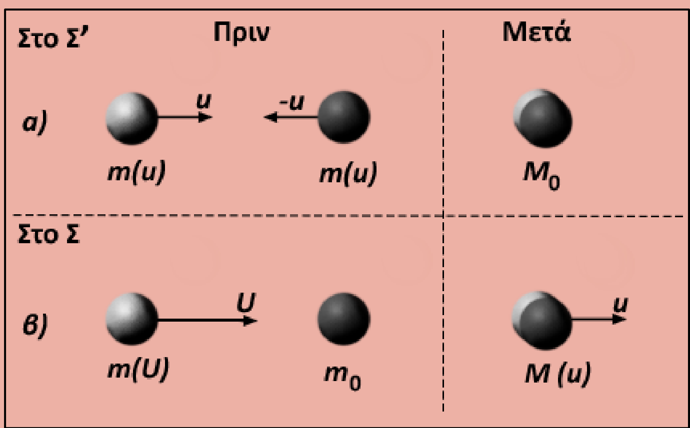
*(α) Απόδειξη του τύπου: $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{\upsilon}{c}\right)^2}}$

Στην ειδική θεωρία της σχετικότητας οι μετρήσεις των χωρικών και χρονικών αποστάσεων εξαρτώνται από την κίνηση του παρατηρητή σε ένα αδρανειακό σύστημα αναφοράς (ΑΣΑ). Επομένως, είναι εύλογο να υποθέσουμε ότι η μάζα είναι ένα μέγεθος το οποίο εξαρτάται από την κίνηση του παρατηρητή. Ας θεωρήσουμε ένα σωματίδιο με μάζα m, που κινείται με ταχύτητα u ως προς ένα ΑΣΑ Σ. Η μάζα m του σωματιδίου εξαρτάται από την ταχύτητα u με την οποία κινείται όπως καταγράφεται από ένα παρατηρητή στο Σ, δηλαδή

$$m = m(u).$$

Θέλουμε να βρούμε ποια ακριβώς είναι η εξάρτηση της μάζας (m), σε συνάρτηση της ταχύτητας (u) και της μάζας ηρεμίας του σωματιδίου $m_0 = m(0)$, δηλαδή τη μάζα που έχει το σωματίδιο όταν αυτό ακινητεί στο Σ.

Για να βρούμε αυτή την εξάρτηση θα εκτελέσουμε το πιο κάτω νοητό πείραμα. Θεωρούμε δύο όμοια σωματίδια με την ίδια αλλά αντίθετη ταχύτητα u τα οποία κινούνται κατά μήκος μιας ευθείας σ' ένα Αδρανειακό Σύστημα Αναφοράς (ΑΣΑ) Σ′ (σχήμα 3.7 α). Εκτός αυτού, υπάρχει ένα άλλο ΑΣΑ Σ, ως προς το οποίο το Σ′ κινείται με ταχύτητα u, και άρα στο Σ ένα από τα σωματίδια ακινητεί (σχήμα 3.7 β).



Σχήμα 3.7: Τελείως ανελαστική κρούση ανάμεσα σε δύο όμοια αντικείμενα όπως παρατηρούνται α) στο ΑΣΑ Σ′ μηδενικής ορμής Σ και β) στο ΑΣΑ Σ όπου το ένα αντικείμενο είναι αρχικά ακίνητο.

Η αναπόφευκτη μετωπική σύγκρουση των δύο σωματιδίων όπως παρατηρείται στο Σ′, είναι τελείως ανελαστική, δηλαδή τα δύο σωματίδια ενσωματώνονται μετά την κρούση, και σαν αποτέλεσμα σχηματίζεται ένα νέο σύνθετο σωματίδιο που είναι ακίνητο. Έτσι στο άλλο ΑΣΑ Σ το σύνθετο σωματίδιο πρέπει να κινείται με ταχύτητα u.

Ας υποθέσουμε ότι το σωματίδιο που αρχικά κινείται στο Σ έχει ταχύτητα U και ότι τόσο η κρούση όσο και η κίνηση του Σ′ ως προς το Σ, λαμβάνουν χώρα στον x-άξονα. Θα χρησιμοποιήσουμε τον πιο κάτω νόμο σύνθεσης των ταχυτήτων:

$$u_1 = \frac{u_1' + \upsilon}{1 + \frac{\upsilon u_1'}{c^2}}$$

όπου, το υ είναι : η ταχύτητα του Σ′ ως προς Σ

u_1: η ταχύτητα του Σ′′ ως προς Σ και

u_1': η ταχύτητα του Σ′′ ως προς Σ′

που για τα δεδομένα του νοητού πειράματος $u_1 = U$, $u_1' = \upsilon = u$, γίνεται:

$$U = \frac{2u}{1 + \frac{u^2}{c^2}} \qquad (3.28)$$

Θεωρούμε τώρα την κρούση στο Σ καταγράφοντας τις αρχές διατήρησης ορμής και διατήρησης μάζας.

Αρχή διατήρησης της ορμής: $m(U)U + 0 = M(u)u$ (3.29)

Αρχή διατήρησης της μάζας: $m(U) + m_0 = M(u)$ (3.30)

όπου $m_0 = m(0)$. Απαλείφοντας την $M(u)$ από τις εξισώσεις (3.29) και (3.30) βρίσκουμε ότι

$$\frac{m(U)}{m_0} = \frac{u}{U - u} \qquad (3.31)$$

Όμως, από την εξίσωση (3.28) έχουμε ότι η u συνδέεται με τη U, οπότε μπορούμε να γράψουμε τον λόγο $\frac{m(U)}{m_0}$ στην (3.31) σαν μια συνάρτηση της ταχύτητας U μόνο. Πράγματι, η (3.28) είναι μια εξίσωση δευτέρου βαθμού ως προς u

$$u^2 - 2\left(\frac{c^2}{U}\right)u + c^2 = 0$$

με λύσεις

$$u = \frac{c^2}{U}\left(1 \pm \sqrt{1 - \frac{U^2}{c^2}}\right)$$

Αποδεκτή είναι μόνο η λύση με το αρνητικό πρόσημο, αφού όταν $U \ll c$ γνωρίζουμε ότι θα πρέπει $u \to \frac{U}{2}$ και η τετραγωνική ρίζα στην παραπάνω σχέση είναι περίπου ίση με $1 - \frac{U^2}{(2c^2)}$
όταν $U \ll c$
ισχύει το ανάπτυγμα $(1 - x^2)^{1/2} = 1 - \frac{x^2}{2} + O(x^4)$, γύρω από το x = 0

Άρα έχουμε

$$u = \frac{c^2}{U}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{U^2}{c^2}}\right)$$

και για αυτή τη τιμή της u, έχουμε

$$U - u = \frac{c^2}{U}\left[\frac{U^2}{c^2} - \left(1 - \sqrt{1 - \frac{U^2}{c^2}}\right)\right] = \frac{c^2}{U}\left[\sqrt{1 - \frac{U^2}{c^2}} - \left(1 - \frac{U^2}{c^2}\right)\right] =$$
$$\frac{c^2}{U}\sqrt{1 - \frac{U^2}{c^2}}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{U^2}{c^2}}\right]$$

Αντικαθιστώντας τις δύο προηγούμενες σχέσεις στην (3.31) παίρνουμε

$$\frac{m(U)}{m_0} = \frac{u}{U-u} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{U^2}{c^2}}} = \gamma(U)$$

και συνεπώς καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι πρέπει να ορίσουμε τη σχετικιστική μάζα m(U) ενός σωματιδίου που κινείται με ταχύτητα U σε ένα ΑΣΑ Σ ως εξής

$$m(U) = \gamma(U)m_0 \qquad => \qquad m(U) = \frac{m_0}{\sqrt{1-\left(\frac{U}{c}\right)^2}}$$

Ο σχετικιστικός τύπος της μάζας εμπεριέχει την κλασική έκφραση ως όριο στην περίπτωση των χαμηλών ταχυτήτων ($\upsilon \ll c$). Αν αναπτύξουμε την έκφραση $\frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{\upsilon}{c}\right)^2}}$ σε δυναμοσειρά γύρω από το μηδέν, βρίσκουμε ότι:

$$m(U) = \frac{m_0}{\sqrt{1-\left(\frac{U}{c}\right)^2}} = m_0\left[1 + \frac{1}{2}\left(\frac{U}{c}\right)^2 + \cdots\right] \xrightarrow{\upsilon \ll c} m \approx m_0$$

Όταν η ταχύτητα είναι πολύ μικρότερη από την ταχύτητα του φωτός, μπορούμε να αγνοήσουμε όρους της τάξης του $(\upsilon/c)^2$ και άνω. Στην περίπτωση αυτή, η μάζα ηρεμίας m_0 ταυτίζεται (για κάθε πρακτικό σκοπό) με τη μάζα αδράνειας m.

3.1.2.4 Χωροχρόνος Minkowski

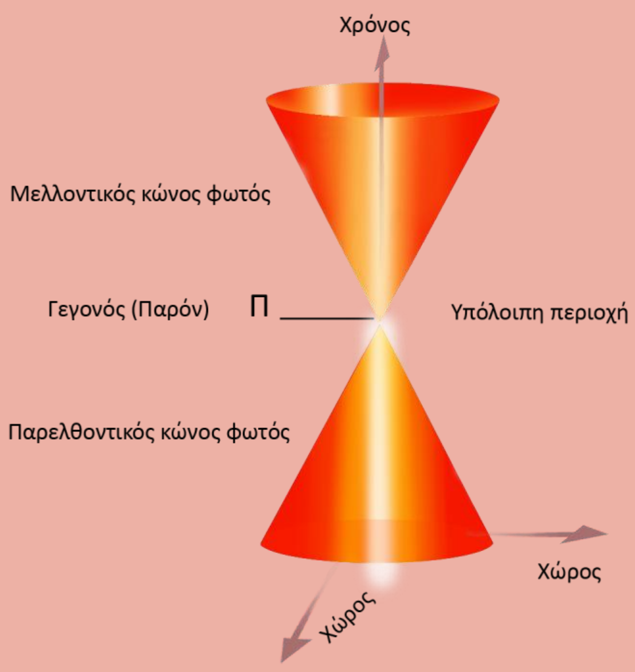
Ο χωροχρόνος Minkowski ή χώρος Minkowski (από τον ομώνυμο μαθηματικό Χέρμαν Μινκόβσκι (Hermann Minkowski) είναι ο μαθηματικός χώρος στον οποίο η ειδική θεωρία της σχετικότητας του Άλμπερτ Αϊνστάιν, είναι πιο κατάλληλη να παρασταθεί. Σε αυτό τον χώρο υπάρχουν οι συνήθεις τρεις χωρικές διαστάσεις οι οποίες συνδυάζονται με τη διάσταση του χρόνου και σχηματίζουν μια τετραδιάστατη τοπολογική πολλαπλότητα για την αναπαράσταση του χωροχρόνου.

Σε αντίθεση με τον Ευκλείδιο χώρο, στον οποίο υπάρχουν μόνο χωρικές μεταβλητές, στον χωροχρόνο Minkowski υπάρχουν και χρονικές μεταβλητές. Ο χωροχρόνος Minkowski αναπαρίσταται από τον κώνο φωτός[2] (ή διάγραμμα Minkowski), που αναπαριστά τους μετασχηματισμούς Λόρεντζ για τον παρατηρητή (παρόν) και για γεγονότα τα οποία μπορούν να βρίσκονται μέσα στον κώνο και είναι δυνατόν να επηρεασθούν από τον παρατηρητή ή εκτός αυτού που είναι αδύνατον να επηρεασθούν από αυτόν. Επιπροσθέτως, όσα γεγονότα βρίσκονται «πάνω» γίνονται στο μέλλον, ενώ αυτά «κάτω» στο παρελθόν (βλέπε σχ. 3.8).

---

2. Βλέπε σύγγραμμα του Hawking, S. (1997) «*Το Χρονικό του Χρόνου».* Εκδόσεις Κάτοπτρο, Αναθεωρημένη Έκδοση, Αθήνα, σσ. 51 – 55.





Σχήμα 3.8: Το σύμπαν θεωρητικά αποτελείται από τέσσερα μέρη: το σημειακό παρόν, τον κώνο φωτός του παρελθόντος, τον αντιδιαμετρικό αυτού κώνο φωτός του μέλλοντος, καθώς και από την περιοχή εκτός των κώνων, η οποία ονομάζεται «οπουδήποτε αλλού».

Εντός των κώνων, καθώς και στο παρόν, η ταχύτητα οποιουδήποτε σώματος δεν μπορεί να ξεπεράσει την ταχύτητα του φωτός. Στην επιφάνεια των κώνων, η ταχύτητα των σωμάτων είναι θεωρητικά ίση με την ταχύτητα του φωτός, και εκτός των κώνων τα σώματα μπορούν να αποκτήσουν ταχύτητα μεγαλύτερη του φωτός.

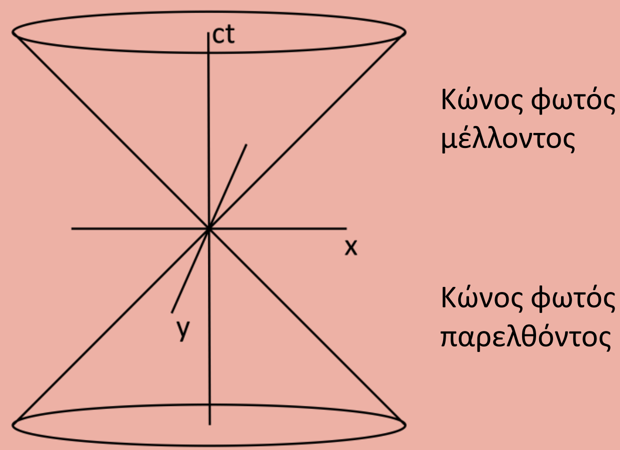
(α) Απόδειξη ότι ο χωροχρόνος Minkowski αναπαρίσταται από τον κώνο φωτός

Προκειμένου να αποδείξουμε ότι ο χωροχρόνος Minkowski αναπαρίσταται από τον κώνο φωτός, θα θεωρήσουμε μια φωτεινή ακτίνα (ένα φωτόνιο) το οποίο ξεκινά από το σημείο Ο ενός αδρανειακού συστήματος S και κινείται επί του άξονα Οx κατά την θετική φορά. Η κίνηση του δίνεται από την παραμετρική εξίσωση

$$x = ct, y = 0, z = 0 \qquad (3.32)$$

της κοσμικής γραμμής του στο χωροχρόνο (Σχήμα 3.9). Η (3.32) είναι η εξίσωση ευθείας γραμμής, η οποία είναι η διχοτόμος των αξόνων x και ct. Κατά παρόμοιο τρόπο, η εξίσωση της κίνησης ενός φωτονίου που κινείται στον άξονα Οx του συστήματος S κατά την αρνητική φορά είναι η

$$x = -\, ct \qquad (3.33)$$



Σχήμα 3.9: Ο κώνος φωτός (ή διάγραμμα Minkowski)

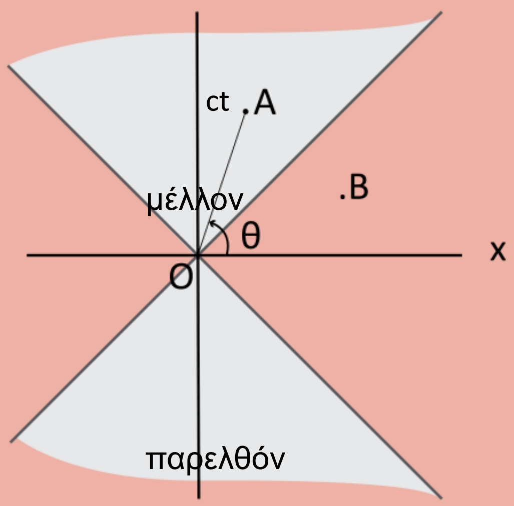
<u>Σημείωση</u>: Παραμετρική εξίσωση 1ου βαθμού ονομάζεται η εξίσωση αx + β = 0 της οποίας ένας τουλάχιστον από τους συντελεστές της α και β εκφράζεται με τη βοήθεια γραμμάτων.

και η αντίστοιχη κοσμική γραμμή είναι η διχοτόμος των αξόνων – x, ct του χωρόχρονου. Αν θεωρήσουμε ότι τα φωτόνια που εκπέμπονται από το σημείο Ο τη στιγμή t = 0 κινούνται στο επίπεδο Oxy, οι αντίστοιχες κοσμικές γραμμές είναι γενέτειρες ενός κώνου, με κορυφή Ο, στον τρισδιάστατο χωρόχρονο x, y, ct, βλέπε σχήμα 3.9. Ο κώνος αυτός ονομάζεται κώνος φωτός. Κάτι αντίστοιχο ισχύει και για την κίνηση γενικά των φωτονίων στο χώρο των τριών διαστάσεων xyz. Οι κοσμικές γραμμές τους ορίζουν επιφάνεια κώνου, με κορυφή το σημείο Ο του χωροχρόνου, στο χώρο των τεσσάρων διαστάσεων.

Ας θεωρήσουμε τώρα τα σημεία του χωροχρόνου δύο διαστάσεων x, ct που αντιπροσωπεύουν γεγονότα που λαμβάνουν χώρα στον άξονα Ox του αδρανειακού συστήματος S. Στο χωρόχρονο αυτό έχουμε και τον κώνο φωτός, όπως ορίσθηκε πιο πάνω (σχήμα 3.9). Το σημείο Ο του χωροχρόνου, που είναι και η κορυφή του κώνου φωτός, είναι ένα γεγονός που ονομάζεται το παρόν του παρατηρητή. Το γεγονός αυτό λαμβάνει χώρα τη χρονική στιγμή t = 0, στο σημείο (0, 0, 0) του συστήματος S. Έτσι, ο κώνος φωτός διαχωρίζει όλα τα άλλα γεγονότα σε δύο κατηγορίες, ως προς αυτό το γεγονός. Στα γεγονότα που βρίσκονται μέσα στον κώνο φωτός και σ' αυτά που βρίσκονται έξω από αυτόν.

Αρχικά παίρνουμε ένα γεγονός Α το οποίο βρίσκεται μέσα στον κώνο φωτός και είναι t > 0. Το γεγονός αυτό θα συμβεί στον μέλλον, ως προς το παρόν Ο του παρατηρητή και είναι δυνατόν να επηρεαστεί από αυτόν, δηλαδή είναι δυνατόν να σταλεί ένα σήμα από τη θέση του γεγονότος Ο με ταχύτητα μικρότερη από την ταχύτητα του φωτός και να φτάσει στη θέση του γεγονότος Α τη στιγμή που λαμβάνει χώρα το γεγονός αυτό (και έτσι να το επηρεάσει). Αν πράγματι οι συντεταγμένες του γεγονότος Α, είναι (x, ct), για να διανυθεί η απόσταση x σε χρόνο t από ένα σήμα που θα ξεκινήσει από τη θέση x = 0 τη στιγμή t = 0 (σημείο Ο του χωροχρόνου), πρέπει να κινηθεί με ταχύτητα

$$\upsilon = \frac{x}{t} \text{ ή } \upsilon = \frac{c}{ct/x} = \frac{c}{\varepsilon\varphi\theta} \qquad (3.34)$$



Σχήμα 3.10: ο κώνος φωτός και τα γεγονότα Α και Β

όπου θ η γωνιά που σχηματίζει η ευθεία ΟΑ με τον άξονα x του χωροχρόνου στο σχήμα 3.10. Λόγω του ότι το σημείο Α είναι μέσα στον κώνο φωτός, είναι $\theta \geq 45^o$ και έτσι $\upsilon < c$. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι όλα τα γεγονότα τα οποία βρίσκονται μέσα στον κώνο φωτός μπορούν να επηρεαστούν από το γεγονός Ο, και έτσι όλα αυτά τα σημεία αποτελούν το μέλλον, ως προς το γεγονός Ο. Ομοίως αποδεικνύεται ότι όλα τα γεγονότα που βρίσκονται στον κώνο φωτός για $t < 0$ αποτελούν το παρελθόν του γεγονότος Ο, με την έννοια ότι θα μπορούσαν να το είχαν επηρεάσει.

Στη συνέχεια παίρνουμε ένα γεγονός Β το οποίο βρίσκεται έξω από τον κώνο φωτός. Για να επηρεασθεί από το γεγονός Ο, αν x, ct είναι οι συντεταγμένες του, θα πρέπει να σταλεί από αυτό ένα σήμα με ταχύτητα υ, που δίδεται από τον τύπο (3.34), και να φτάσει στη θέση του γεγονότος Β τη στιγμή που αυτό λαμβάνει χώρα. Τώρα όμως η γωνία θ είναι η γωνία που σχηματίζει η ευθεία ΟΒ με τον άξονα x του χωροχρόνου (σχήμα 3.10), και είναι $\theta < 45^o$, οπότε η ταχύτητα υ είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα του φωτός c. Κάτι τέτοιο όμως δεν μπορεί να συμβεί διότι η ταχύτητα υ δεν μπορεί να υπερβεί την ταχύτητα του φωτός. Επομένως καταλήγουμε στο εξής συμπέρασμα:

Τα γεγονότα έξω από τον κώνο φωτός δεν μπορούν να επηρεαστούν από το γεγονός Ο, ούτε θα μπορούσαν να το είχαν επηρεάσει εάν είχαν συμβεί για $t < 0$.

Τα παραπάνω, ισχύουν και γενικά στο χωρόχρονο x, y, z, ct, όμως για λόγους απλότητας παρουσιάστηκαν σε χωρόχρονο δύο διαστάσεων.

Σημείωση: Όπως προκύπτει αν αναπαραστήσουμε το φαινόμενο «εκπομπή ενός ηλεκτρομαγνητικού σήματος» σε ένα υποθετικό χώρο δύο χωρικών διαστάσεων, χρησιμοποιώντας άξονες x και y και τρίτο άξονα με τιμές τα γινόμενα «ταχύτητα του σήματος επί τον χρόνο» ct και με αρχή των αξόνων το γεγονός «εκπομπή του σήματος» ΤΩΡΑ, το γεγονός «άφιξη του σήματος σε κάποιο χωροχρονικό σημείο του μέλλοντος» θα παριστάνεται με ένα γεωμετρικό σημείο της κωνικής επιφάνειας με την κορυφή προς τα κάτω. Εφόσον κατά τη διάδοση του σήματος στις δύο διαστάσεις με ταχύτητα c ισχύει $x = y = ct$ η γωνία που θα σχηματίζει κάθε γενέτειρα του κώνου με το οριζόντιο επίπεδο θα είναι γωνία 45^0.

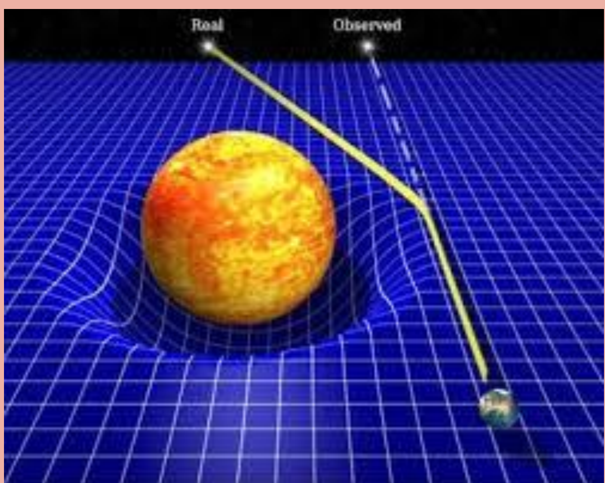
3.1.3 Η γενική θεωρία της σχετικότητας

Η γενική σχετικότητα – που έρχεται να συμπληρώσει την ειδική σχετικότητα - είναι μια θεωρία βαρύτητας που προτάθηκε από τον Αϊνστάιν την περίοδο 1907-1915, η οποία περιγράφει τη βαρυτική δύναμη μέσω των καμπυλώσεων του χωροχρόνου παρουσία μάζας και αντικατέστησε την εξήγηση του Isaak Newton για τη βαρύτητα.

Σύμφωνα με τη θεωρία αυτή, η βαρύτητα δεν θεωρείται ως το αποτέλεσμα μιας δύναμης, αλλά οφείλεται στην καμπύλωση του χωρόχρονου, η οποία προκαλείται από την περιεχόμενη στον χωρόχρονο ύλη και ενέργεια (η παρουσία ύλης αλλάζει τη γεωμετρία του χωρόχρονου, η οποία ερμηνεύεται ως βαρύτητα, βλέπε εικ. 3.11). Μπορούμε να φανταστούμε τον χωροχρόνο σαν ένα τεντωμένο σεντόνι, στο κέντρο του οποίου τοποθετούμε μια μπάλα· το σεντόνι θα στρεβλωθεί και θα κάνει κοιλώματα. Αν εκτοξεύσουμε τώρα μια μικρή μπίλια πάνω στην επιφάνεια του σεντονιού τότε η τροχιά που θα διαγράψει η μπίλια προφανώς δεν θα είναι ευθύγραμμη αλλά καμπύλη. Η καμπύλωση της τροχιάς δεν οφείλεται στη βαρυτική έλξη που ασκεί η μπάλα στην μικρή μπίλια αλλά στην παραμόρφωση που προκάλεσε η μπάλα στην επιφάνεια του σεντονιού.

Η ανάπτυξη της γενικής σχετικότητας ξεκίνησε με την αρχή της ισοδυναμίας σύμφωνα με την οποία οι καταστάσεις επιταχυνόμενης κίνησης και ηρεμίας σε ένα βαρυτικό πεδίο είναι ταυτόσημες. Το αποτέλεσμα της ιδέας αυτής είναι ότι, η ελεύθερη πτώση είναι αδρανειακή κίνηση σε μη ευκλείδειο χώρο: Με άλλα λόγια, ένα αντικείμενο σε ελεύθερη πτώση, πέφτει επειδή αυτός είναι ο τρόπος με τον οποίο τα αντικείμενα κινούνται όταν δεν ασκείται πάνω τους δύναμη, αντί να πέφτει λόγω της δύναμης της βαρύτητας, όπως συμβαίνει στην κλασική μηχανική. Αυτό είναι ασύμβατο με την κλασική μηχανική και την ειδική σχετικότητα, επειδή σε αυτές τις θεωρίες αντικείμενα που κινούνται αδρανειακά δε μπορούν να επιταχύνουν το ένα σε σχέση με το άλλο, αλλά αντικείμενα σε ελεύθερη πτώση κάνουν ακριβώς αυτό. Για το λόγο αυτό, ο Αϊνστάιν πρότεινε αρχικά πώς ο χωροχρόνος είναι καμπυλωμένος. Το 1915 ανακοίνωσε τις πεδιακές εξισώσεις Αϊνστάιν, οι οποίες συσχετίζουν την καμπύλωση του χωροχρόνου σε σχέση με τη μάζα, την ενέργεια και την ορμή μέσα σε αυτόν.

Χωρόχρονος: Χώρος τεσσάρων διαστάσεων από τις οποίες η τέταρτη είναι ο χρόνος που, σύμφωνα με τη θεωρία της σχετικότητας, απαιτείται για να προσδιοριστεί η θέση ενός φαινομένου.



Εικόνα 3.11: «Η ύλη λέει στο χώρο πώς να καμπυλωθεί και ο χώρος λέει στην ύλη πώς να κινηθεί». (John Wheeler)

Πεδιακές εξισώσεις του Αϊνστάιν:

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} R\, g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4}\, T_{\mu\nu}$$

όπου τα R και g αφορούν στη δομή του χωρόχρονου, το T αφορά στην επίδραση της ύλης και του ενεργειακού περιεχομένου (που επηρεάζει τη δομή του χωρόχρονου), και G και c είναι παράγοντες μετατροπής (παγκόσμιες σταθερές) που προκύπτουν από τη χρήση παραδοσιακών μονάδων μέτρησης. Όταν το T είναι μηδέν, οι πεδιακές εξισώσεις περιγράφουν τον κενό χώρο. Οι πεδιακές εξισώσεις του Αϊνστάιν είναι μη γραμμικές και πολύ δύσκολο να επιλυθούν.

Ο Άλμπερτ Αϊνστάιν τέλος, πρότεινε την **κοσμολογική σταθερά** (συνήθως συμβολίζεται με κεφαλαίο **Λ**) ως μια τροποποίηση της αρχικής του θεωρίας της γενικής σχετικότητας, ώστε να επιτύχει ένα στατικό σύμπαν. Μετά την ανακάλυψη από τον Χαμπλ της ερυθράς μετατόπισης του φάσματος των γαλαξιών (νόμος του Χαμπλ) και την εισαγωγή της αντίληψης του διαστελλόμενου σύμπαντος, ο Αϊνστάιν εγκατέλειψε την ιδέα. Ωστόσο, η ανακάλυψη της επιτάχυνσης της κοσμικής διαστολής κατά την δεκαετία του 1990 έχει ανανεώσει το ενδιαφέρον γύρω από την κοσμολογική σταθερά. Η κοσμολογική σταθερά Λ εμφανίζεται στις τροποποιημένες πεδιακές εξισώσεις της Γενικής Σχετικότητας του Αϊνστάιν στη μορφή:

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} R\, g_{\mu\nu} + \Lambda\, g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4}\, T_{\mu\nu}$$

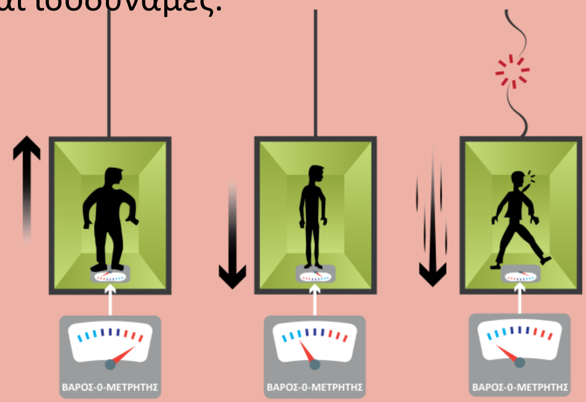
Όταν το Λ ισούται με το μηδέν, οι εξισώσεις ανάγονται στις αρχικές πεδιακές εξισώσεις της γενικής σχετικότητας. Αστρονομικές παρατηρήσεις υποδεικνύουν ότι η σταθερά δεν μπορεί να υπερβαίνει την τιμή 10^{-46} km^{-2} .

Ο λόγος που δεν ήταν ικανοποιημένος ο Αϊνστάιν και συμπεριέλαβε την κοσμολογική σταθερά ως όρο στις πεδιακές εξισώσεις του για την γενική σχετικότητα, ήταν το γεγονός ότι οι αρχικές εξισώσεις του δεν επέτρεπαν, εμφανώς, ως λύση ένα στατικό σύμπαν: η βαρύτητα, όντας πάντοτε ελκτική, θα οδηγούσε σε συστολή ένα σύμπαν το οποίο αρχικά βρίσκεται σε δυναμική ισορροπία. Για να αντισταθμίσει αυτή την δυνατότητα, ο Αϊνστάιν εισήγαγε την κοσμολογική σταθερά.

(α) Η Αρχή της Ισοδυναμίας

Η Αρχή της Ισοδυναμίας είναι το βασικό αξίωμα της Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας του Άινσταϊν: Δύο παρατηρητές, από τους οποίους ο ένας βρίσκεται μέσα σε ομογενές πεδίο βαρύτητας και ο άλλος επιταχύνεται με σταθερή επιτάχυνση, θα αντιληφθούν τα ίδια φυσικά φαινόμενα και θα διατυπώσουν τους ίδιους φυσικούς νόμους. Με άλλα λόγια δεν μπορεί να γίνει πειραματική διάκριση μεταξύ επιταχύνσεων που οφείλονται σε πεδία βαρύτητας ή στην επιλογή του συστήματος αναφοράς. Αυτό σημαίνει ότι η αδρανειακή και η βαρυτική μάζα είναι ίσες*.

Για την κατανόηση της «αρχής» χρησιμοποιούμε το παράδειγμα του ελέγχου του βάρους με ανελκυστήρα: Αν στέκεστε σε μια ζυγαριά μέσα σε ένα ανελκυστήρα που επιταχύνει προς τα πάνω, τα πόδια σας εξασκούν μεγαλύτερη πίεση στη ζυγαριά – η ζυγαριά θα δείξει μεγαλύτερο βάρος (βλ. εικόνα 3.12, α). Το ίδιο θα συμβεί όμως και σε έναν ακίνητο ανελκυστήρα αν η βαρύτητα για κάποιο λόγο γίνει ισχυρότερη. Ένας ανελκυστήρας που επιταχύνει προς τα κάτω θα μοιάζει με παρουσία ασθενέστερης βαρύτητας (β). Αν το καλώδιο του ανελκυστήρα σπάσει, εσείς και η ζυγαριά θα εκτελείτε μαζί ελεύθερη πτώση και η ζυγαριά θα δείξει μηδενικό βάρος (γ). Η ελεύθερη πτώση είναι επομένως ισοδύναμη με το να απαλείψουμε ως εκ θαύματος την βαρύτητα. Αυτό οδήγησε τον Αϊνστάιν το 1907 σε ένα συγκλονιστικό συμπέρασμα, ότι η δύναμη της βαρύτητας και η δύναμη που προκύπτει λόγω επιτάχυνσης είναι στην πραγματικότητα μια και αυτή. Αυτή η δραστική ενοποίηση ονομάζεται «αρχή της ισοδυναμίας», υποδηλώνοντας ότι η επιτάχυνση και η βαρύτητα είναι στην πραγματικότητα δύο όψεις της ίδιας δύναμης - είναι ισοδύναμες.



Εικόνα 3.12: Έλεγχος του βάρους με ανελκυστήρα – αύξηση βάρους όταν ο ανελκυστήρας επιταχύνει προς τα πάνω (α), απώλεια βάρους όταν επιταχύνει προς τα κάτω (β), και απουσία βαρύτητας όταν πέφτει ελεύθερα (γ).

Αδράνεια: Ιδιότητα της ύλης που την αναγκάζει να αντισταθεί σε οποιαδήποτε μεταβολή της κινητικής της κατάστασης. Συνεπώς, ένα σώμα σε κατάσταση ηρεμίας παραμένει σε κατάσταση ηρεμίας, εκτός και αν ασκήσουμε πάνω του μια εξωτερική δύναμη, και κάποιο άλλο σώμα που βρίσκεται σε κίνηση, συνεχίζει να κινείται με σταθερή ταχύτητα σε ευθεία γραμμή, εκτός και αν ασκηθεί πάνω του μια εξωτερική δύναμη. Η μάζα του σώματος είναι μέτρο της αδράνειάς του, δηλαδή της αντίστασής του στην επιτάχυνση.

«Η αδράνεια οποιουδήποτε κομματιού ύλης μπορεί να αποδοθεί στην αλληλεπίδραση μεταξύ αυτού του κομματιού και του υπόλοιπου σύμπαντος. Κάποιο σώμα σε απομόνωση θα παρουσίαζε αδράνεια μηδέν» (Ernst Mach 1870).

***(i) Απόδειξη ότι η αδρανειακή μάζα ισούται με τη βαρυτική μάζα**

1ον Σύμφωνα με τη Νευτώνεια Μηχανική ένα σώμα επιταχύνεται από μια δύναμη $\vec{F}$ με επιτάχυνση που δίνεται από τον θεμελιώδη νόμο της μηχανικής:

$$\vec{F} = m_\alpha \vec{\alpha}$$

όπου m_α είναι η αδρανειακή μάζα και είναι χαρακτηριστική σταθερά του σώματος που επιταχύνεται.

2ον Η βαρυτική δύναμη που ασκείται στο σώμα από το βαρυτικό πεδίο (π.χ. της Γης) ισούται με:

$$\vec{B} = m_\beta \vec{g}$$

όπου m_β είναι η βαρυτική μάζα του σώματος που και αυτή η φυσική ποσότητα είναι μία σταθερά που χαρακτηρίζει το σώμα και $\vec{g}$ είναι η ένταση του πεδίου βαρύτητας.

Συνεπώς έχουμε δυο είδη μάζας, την αδρανειακή μάζα, που σχετίζεται με την επιτάχυνση, που αποκτά κάποιο σώμα υπό την επίδραση δύναμης και την βαρυτική μάζα, που σχετίζεται με την βαρυτική αλληλεπίδραση.

Έτσι, εάν ένα σώμα πέφτει ελεύθερα (υπό την επίδραση μόνο της βαρύτητας) τότε ισχύει ότι

$$\vec{F} = \vec{B}$$

$$m_\alpha \vec{\alpha} = m_\beta \vec{g}$$

$$\vec{\alpha} = \left(\frac{m_\beta}{m_\alpha}\right)\vec{g}$$

εφόσον όμως σε ένα σώμα ασκείται μόνο η δύναμη της βαρύτητας, το σώμα θα έχει επιτάχυνση α = g,

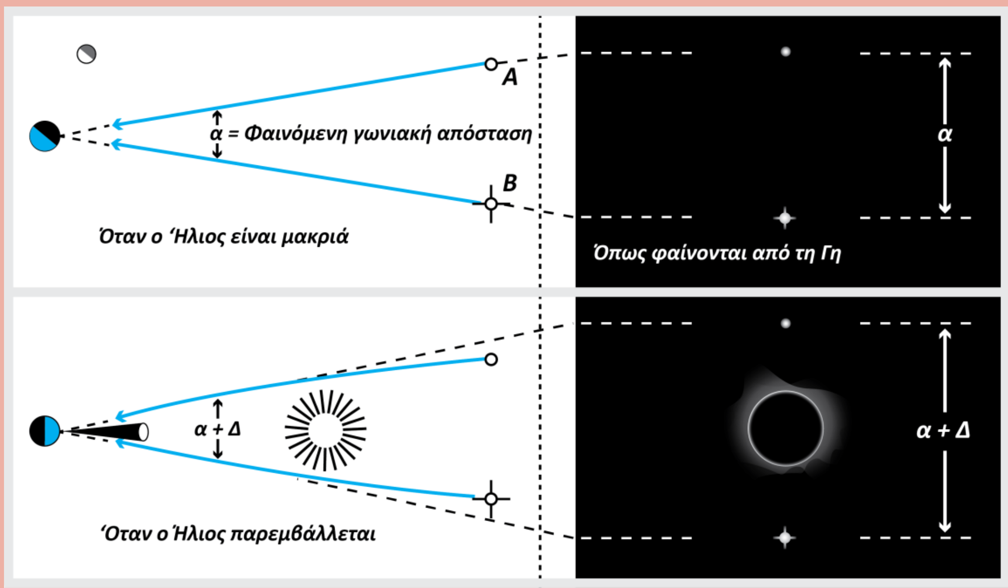
$$\text{άρα} \quad \frac{m_\beta}{m_\alpha} = 1$$

$$\Longrightarrow \quad m_\beta = m_\alpha$$

3.1.3.1 Συνέπειες της γενικής θεωρίας της σχετικότητας

- Ο χρόνος περνά διαφορετικά σε χαμηλότερα βαρυτικά δυναμικά. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται βαρυτική διαστολή του χρόνου.

- Ακόμα και οι ακτίνες του φωτός (όπου τα φωτόνια δεν έχουν μάζα) αλλάζουν πορεία παρουσία ενός βαρυτικού πεδίου (βλέπε σχ.3.13).



Σχήμα 3.13: Η γωνιακή απόσταση δύο αστέρων φαίνεται διαφορετική, όταν ο Ήλιος βρίσκεται ανάμεσά τους. Η παρατήρηση μπορεί βέβαια να γίνει μόνον κατά τη διάρκεια μιας ηλιακής έκλειψης, ώστε οι αστέρες να είναι ορατοί. Η διαφορά οφείλεται στην απόκλιση των φωτεινών ακτίνων, όταν περνάνε κοντά στον Ήλιο. Οι ακτίνες αποκλίνουν λόγω της καμπύλωσης του χωροχρόνου που προκαλείται από το ισχυρό βαρυτικό πεδίο του Ήλιου.

Σημείωση: Το φως κατά την κίνησή του στο κενό ή μέσα σ’ ένα ομοιογενές μέσο ακολουθεί πάντοτε μια διαδρομή ελαχίστου μήκους. Σε έναν Ευκλείδειο χώρο η γραμμή ελαχίστου μήκους που συνδέει δύο σημεία είναι η ευθεία που διέρχεται από αυτά. Όταν όμως ο χώρος είναι καμπυλωμένος, όπως π.χ. η επιφάνεια μιας σφαίρας, η γραμμή ελαχίστου μήκους που συνδέει δυο σημεία, που βρίσκονται επ’ αυτής, δεν είναι πλέον ευθεία. Σε έναν τέτοιο χώρο το φως (όπως και ένα ελεύθερο υλικό σώμα) θα κινηθεί, πάνω σε μια καμπύλη γραμμή ελαχίστου μήκους, που είναι το τόξο του κύκλου της σφαίρας που έχει κέντρο του το κέντρο της σφαίρας και διέρχεται από τα δυο σημεία, ή όπως λέμε ενός μέγιστου κύκλου.

- Ερμηνεύει τη διαστολή του Σύμπαντος κατά την οποία τα πολύ μακρινά μέρη του απομακρύνονται από εμάς πιο γρήγορα από την ταχύτητα του φωτός. Αυτό δεν αντιτίθεται στην ειδική σχετικότητα, που προβλέπει ότι τίποτα δεν μπορεί να κινηθεί γρηγορότερα από το φως, καθώς είναι το ίδιο το Σύμπαν το οποίο διαστέλλεται.

(α) Η διαστολή του χωροχρόνου με ταχύτητα μεγαλύτερη από την ταχύτητα του φωτός

Η θεωρία της σχετικότητας υποστηρίζει ότι η μάζα αυξάνεται με την ταχύτητα. Όσο ταχύτερα κινείται μία μάζα τόσο περισσότερο αυξάνει. Όταν η μάζα εν κινήσει αποκτήσει την ταχύτητα του φωτός, τότε η μάζα αυτή γίνεται άπειρη (τείνει στο άπειρο). Κατά συνέπεια, κανένα σώμα δεν είναι δυνατόν να κινηθεί με την ταχύτητα του φωτός, καθότι αυτό σημαίνει ότι η εν κινήσει μάζα θα έτεινε στο άπειρο και συνεπώς θα κατέστρεφε το σύμπαν (στην πραγματικότητα δεν θα συνέβαινε αυτό, δεν είναι η μάζα που αυξάνεται αλλά η αδράνεια τής).

Η θεωρία βασίζεται στον πιο κάτω τύπο, ο οποίος αποδεικνύεται και πειραματικά:

$m = m_0/\sqrt{1 - (\upsilon/c)^2}$ όπου:

m = η τελική μάζα

m_0 = η μάζα ηρεμίας

υ = η ταχύτητα της μάζας εν κινήσει

c = η ταχύτητα του φωτός στο κενό

Η διαστολή του χωροχρόνου όμως, δεν υπόκειται στο αξίωμα της ταχύτητας του φωτός.

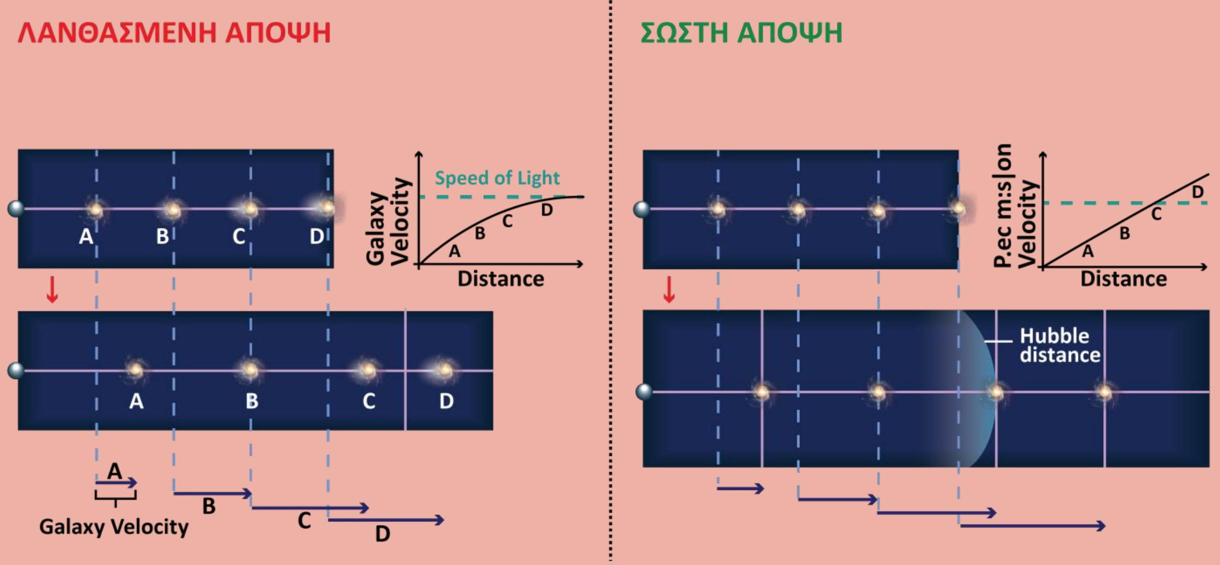
> Το αξίωμα της ταχύτητας του φωτός στην ειδική θεωρία της σχετικότητας αφορά σε αντικείμενα που κινούνται σε ένα τοπικό αδρανειακό σύστημα αναφοράς, όπου ο χώρος θεωρείται επίπεδος και αμετάβλητος. Η εξέλιξη του σύμπαντος όμως, περιγράφεται από την γενική θεωρία της σχετικότητας και όχι από την ειδική. Είναι πιθανόν να υπάρχουν γαλαξίες τόσο απομακρυσμένοι μεταξύ τους, που να μοιάζει ότι η μεταξύ τους απόσταση μεγαλώνει με ταχύτητα μεγαλύτερη από αυτή του φωτός. Οι γαλαξίες αυτοί φαίνονται να απομακρύνονται με ταχύτητες μεγαλύτερες του φωτός, στην πραγματικότητα όμως δεν είναι οι γαλαξίες που κινούνται με τόσο μεγάλες ταχύτητες, αλλά ο χώρος μεταξύ τους που διαστέλλεται[3].

Ο ρυθμός με τον οποίο αυξάνει η απόσταση μεταξύ των γαλαξιών ακολουθεί ένα ξεχωριστό τύπο που ανακαλύφθηκε από τον αμερικανό αστρονόμο Edwin Hubble το 1929, όπως είδαμε στο κεφάλαιο 2. Η ταχύτητα απομάκρυνσης (υ) ενός γαλαξία από εμάς είναι κατευθείαν ανάλογη προς την απόστασή του από μας (d), ή $\upsilon = Hd$. Η σταθερά αναλογίας H είναι γνωστή ως σταθερά Hubble και δείχνει πόσο γρήγορα επεκτείνεται το διάστημα, όχι μόνο από εμάς, αλλά γύρω από οποιονδήποτε παρατηρητή στο σύμπαν.

Το ερώτημα λοιπόν που τίθεται είναι αν μπορούν οι γαλαξίες να απομακρύνονται με ταχύτητα μεγαλύτερη από την ταχύτητα του φωτός. Φυσικά και μπορούν. Η ειδική σχετικότητα δεν αναφέρεται στην ταχύτητα των γαλαξιών λόγω διαστολής του σύμπαντος. Κατά την διαστολή του σύμπαντος, η ταχύτητα απομάκρυνσης των γαλαξιών συνεχίζει να αυξάνει με την απόσταση. Πέρα από κάποια συγκεκριμένη απόσταση, που είναι γνωστή ως απόσταση Hubble. (Για την υπολογισμένη τιμή της σταθεράς του Hubble, αυτή η απόσταση είναι περίπου 14 δισεκατομμύρια έτη φωτός) η ταχύτητα απομάκρυνσης ξεπερνάει την ταχύτητα του φωτός. Στην πραγματικότητα, δεν έχουμε παραβίαση της σχετικότητας, γιατί η απομάκρυνση των γαλαξιών δεν οφείλεται σε κίνηση μέσα στο χώρο, αλλά σε επέκταση του ίδιου του χώρου[4] (βλέπε σχ. 3.14).

<u>Σημείωση</u>: Μερικοί γαλαξίες είναι ήδη τόσο μακριά από μας και απομακρύνονται τόσο γρήγορα που το φως τους δεν θα φτάσει ποτέ στη Γη.

ΜΠΟΡΟΥΝ ΟΙ ΓΑΛΑΞΙΕΣ ΝΑ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΟΝΤΑΙ ΜΕ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ;



Σχήμα 3.14. Η ΛΑΝΘΑΣΜΕΝΗ ΑΠΟΨΗ: Φυσικά και δεν μπορούν. Κάτι τέτοιο απαγορεύεται από την ειδική σχετικότητα του Einstein. Θεωρείστε μια περιοχή του χώρου, η οποία περιέχει μερικούς γαλαξίες. Οι γαλαξίες κινούνται απομακρυνόμενοι από εμάς. Όσο πιο μακριά βρίσκεται ένας γαλαξίας, τόσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητά του (κίτρινα βέλη). Αν δεν υπάρχει ταχύτητα μεγαλύτερη από αυτή του φωτός, τότε η ταχύτητα των γαλαξιών πρέπει να τείνει αυτό το όριο, όπως δείχνει το γράφημα.
Η ΣΩΣΤΗ ΑΠΟΨΗ: Φυσικά και μπορούν. Η ειδική σχετικότητα δεν αναφέρεται στην ταχύτητα των γαλαξιών λόγω διαστολής του σύμπαντος. Κατά την διαστολή του σύμπαντος, η ταχύτητα απομάκρυνσης των γαλαξιών συνεχίζει να αυξάνει με την απόσταση. Πέρα από κάποια συγκεκριμένη απόσταση, που είναι γνωστή ως απόσταση Hubble, η ταχύτητα απομάκρυνσης ξεπερνάει την ταχύτητα του φωτός. Δεν έχουμε παραβίαση της σχετικότητας γιατί η απομάκρυνση των γαλαξιών δεν οφείλεται σε κίνηση μέσα στο χώρο, αλλά σε επέκταση του ίδιου του χώρου.

---

3. Βλέπε άρθρο του Δεληβοριά, Α. (2017) «*Η Διαστολή του Σύμπαντος και το Παράδοξο του Olbers*». Ίδρυμα Έυγενιδου, https://www.eef.edu.gr/el/arthra/h-diastoli-tou-sympantos-kai-to-paradokso-tou-olbers/?sa=X&ved=2ahUKEwiTis77yJnnAhWy1aYKHTEuDo4QFjAAegQIAhAB

4. Βλέπε άρθρο «*Παρερμηνείες για τη Μεγάλη Έκρηξη - Μέρος 2ο - Απομάκρυνση με ταχύτητα μεγαλύτερη του φωτός*». Physics4u, Μάρτιος 2005, http://www.physics4u.gr/articles/2005/misconceptions2.html

3.1.3.2 Βαρυτικά κύματα

Μια άλλη πρόβλεψη της Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας που έχει πρόσφατα επιβεβαιωθεί είναι η ύπαρξη των βαρυτικών κυμάτων.

Τα βαρυτικά κύματα, όπως γράφει στο άρθρο του «Βαρυτικά κύματα: ένα νέο παράθυρο στο Σύμπαν» ο Αστροφυσικός Αλέξης Δεληβοριάς, είναι διαταραχές ή διακυμάνσεις στον ίδιο τον ιστό του χωροχρόνου, οι οποίες διαδίδονται κατά τρόπο ανάλογο περίπου με τους κυματισμούς που δημιουργούνται όταν πετάξουμε ένα βότσαλο μέσα σε μια λίμνη. Σχεδόν κάθε μεταβολή στην κινητική κατάσταση ενός σώματος, αφήνει το «αποτύπωμα» της στον χωροχρόνο με την μορφή ενός βαρυτικού κύματος, το οποίο απομακρύνεται από την «πηγή» του με την ταχύτητα του φωτός. Κάθε βαρυτικό κύμα, κατά τη διάδοσή του, μεταβάλλει με συγκεκριμένο και ρυθμικό τρόπο (επιμήκυνση σε μια διεύθυνση και συρρίκνωση κατά την κάθετη διεύθυνση) τις αποστάσεις μεταξύ των ελεύθερων σωμάτων, σε ένα επίπεδο κάθετο στη διεύθυνση διάδοσής του.

> Προκειμένου να οπτικοποιήσουμε όσο είναι δυνατόν αυτές τις ταλαντώσεις της ύλης που προκαλούνται από τα βαρυτικά κύματα, ας υποθέσουμε αρχικά ότι παρατηρούμε από το πλάι ένα πλοίο που βρίσκεται στην θάλασσα και ότι μια σειρά από κύματα το προσεγγίζουν επίσης απο το πλάι. Καθώς η κορυφή ενός θαλάσσιου κύματος διέρχεται κάτω από το πλοίο, παρατηρούμε ότι το πλοίο "ανεβαίνει" σε ένα μέγιστο ύψος και στη συνέχεια "κατεβαίνει", για να καταλήξει σε ένα ελάχιστο ύψος, όταν ακριβώς από κάτω του βρίσκεται η "κοιλάδα" του κύματος κ.ο.κ.. Σε κάθε περίπτωση, όμως, οι διαστάσεις του πλοίου παραμένουν αμετάβλητες. Εάν, όμως, σε αυτό το "νοητικό" μας πείραμα αντικαθιστούσαμε τα κύματα της θάλασσας με τα βαρυτικά κύματα, θα βλέπαμε κάτι εντελώς διαφορετικό. Όταν, για παράδειγμα, η "κορυφή" του βαρυτικού κύματος διερχόταν από το πλοίο, θα το "ξεχείλωνε", προκαλώντας διαστολή στο μήκος του και ταυτόχρονη συρρίκνωση στο ύψος του. Στη συνέχεια, όταν η "κοιλάδα" του βαρυτικού κύματος διερχόταν από το πλοίο, θα προκαλούσε την αντίθετη μεταβολή, δηλαδή συρρίκνωση στο μήκος του και επιμήκυνση στο ύψος του. Με δύο λόγια, εκείνες οι διαστάσεις του πλοίου, οι οποίες είναι κατακόρυφες στην διεύθυνση διάδοσης του βαρυτικού κύματος, θα μεταβάλλονταν περιοδικά[5].

---

5. Βλέπε άρθρο του Δεληβοριά, Α. (2007) «*Βαρυτικά κύματα: ένα νέο παράθυρο στο Σύμπαν*». Ίδρυμα Ευγενίδου, Πλανητάριο, Αστροπύλη, http://www.eugenfound.edu.gr/frontoffice/portal.asp?cpage=RESOURCE&cresrc=2522&cnode=28

Όσο περισσότερο όμως απομακρύνεται από τη φυσική αιτία που το δημιούργησε, ένα βαρυτικό κύμα που διαδίδεται στον χωροχρονικό ιστό του Σύμπαντος, τόσο περισσότερο εξασθενεί και τόσο περισσότερο ελαχιστοποιούνται οι ταλαντώσεις που προκαλεί στην ύλη. Εάν κάποιο βαρυτικό κύμα, προερχόμενο από κάποιο γειτονικό μας γαλαξία, διερχόταν από το Ηλιακό μας σύστημα, θα μετέβαλλε τη μέση απόσταση της Γης από τον Ήλιο κατά απόσταση μικρότερη από τη διάμετρο ενός ατόμου, λόγω της αμελητέας αλληλεπίδρασης των βαρυτικών κυμάτων με την ύλη. Για αυτό τον λόγο τα βαρυτικά κύματα είναι δύσκολο να ανιχνευτούν.

Τα διπλά συστήματα αστέρων νετρονίων, οι εκρήξεις υπερκαινοφανών που δεν είναι σφαιρικά συμμετρικές, οι συγκρούσεις μεταξύ αστέρων νετρονίων και οι συγχωνεύσεις γιγάντιων μαύρων τρυπών στους γαλαξιακούς πυρήνες, είναι χαρακτηριστικά παραδείγματα φαινομένων που είναι δυνατόν να δημιουργήσουν βαρυτικά κύματα ικανά να προκαλέσουν μετρήσιμες ταλαντώσεις στην ύλη.



Εικ. 3.15: Προσομοιωμένη εικόνα των δύο συγχωνευόμενων μαύρων τρυπών που ανιχνεύθηκε από το LIGO

Όταν ένα διπλό αστρικό σύστημα εκπέμπει βαρυτικά κύματα, σύμφωνα με τη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας, αποβάλλει ενέργεια, με αποτέλεσμα η τροχιά του να συρρικνώνεται και κατά συνέπεια η περίοδός της να μειώνεται. Οι μεταβολές αυτές έχουν ήδη μετρηθεί και αντιστοιχούν με μεγάλη ακρίβεια στις τιμές που προβλέπει η Γενική Θεωρία της Σχετικότητας.

Η ιστορική στιγμή δικαίωσης του Αϊνστάιν ήρθε από τους αμερικανούς ερευνητές του πειράματος LIGO. Η ύπαρξη των βαρυτικών κυμάτων επιβεβαιώθηκε στις 11 Φεβρουαρίου 2016.

Στις 14 Σεπτεμβρίου 2015 ανέφεραν οι εκπρόσωποι του πειράματος και οι δύο ανιχνευτές LIGO στις ΗΠΑ, οι οποίοι απέχουν μεταξύ τους 3.000 χιλιόμετρα, κατέγραψαν το πολυπόθητο σήμα με διαφορά 7 χιλιοστών του δευτερολέπτου – όσο θα περίμενε κανείς για ένα κύμα που ταξιδεύει με την ταχύτητα του φωτός.

«Μπορεί κανείς να πιστέψει ότι οι παραμορφώσεις είναι αληθινές μόνο αν τις δει σε δύο μέρη που βρίσκονται σε απόσταση μεταξύ τους» εξήγησαν οι εκπρόσωποι.

Το σήμα προήλθε από δύο μαύρες τρύπες, η μία με μάζα 29 φορές και η άλλη 36 φορές μεγαλύτερη από την μάζα του ήλιου, σε απόσταση 1,2 δισεκατομμυρίων ετών φωτός από τη Γη. Οι μαύρες τρύπες βρέθηκαν σε μικρή απόσταση μεταξύ τους, κινήθηκαν σπειροειδώς η μια προς την άλλη και τελικά συγκρούστηκαν και συγχωνεύτηκαν, παράγοντας πανίσχυρα κύματα που έφτασαν μέχρι τους ανιχνευτές (βλέπε εικ. 3.15).

Η σύγκρουση απελευθέρωσε ενέργεια που αντιστοιχεί σε 3 φορές τη μάζα του Ήλιου (η ενέργεια και η μάζα είναι ισοδύναμες στη Σχετικότητα) και εξαπλώθηκε στο διάστημα από τα βαρυτικά κύματα. Τη στιγμή που τα κύματα συνάντησαν τη Γη, ολόκληρη η Γη τεντώθηκε και συρρικνώθηκε ανεπαίσθητα.

Από το 1916, ένα χρόνο μετά τη δημοσίευση της θεωρίας της Γενικής Σχετικότητας, ο Αϊνστάιν προέβλεψε ότι, τα αντικείμενα μεγάλης μάζας, που κινούνται επιταχυνόμενα, παράγουν κυματισμούς στο χωροχρόνο που διαδίδονται προς όλες τις κατευθύνσεις με την ταχύτητα του φωτός.

Τα κύματα αυτά ονομάστηκαν βαρυτικά, επειδή παραμορφώνουν το «σεντόνι» του χωροχρόνου όπως η βαρύτητα.

Πρακτικά, τα βαρυτικά κύματα τεντώνουν το χώρο σε μια διάσταση (ας πούμε κατά μήκος) και τον συμπιέζουν σε μια άλλη (ας πούμε κατά πλάτος), μεταβάλλοντας ανεπαίσθητα τις διαστάσεις των αντικειμένων που συναντούν στην πορεία τους.

Το πρόβλημα είναι ότι δεν μπορεί να μετρήσει κανείς αυτή τη μεταβολή με ένα απλό χάρακα. Ο ίδιος ο χάρακας θα μάκραινε ή θα γινόταν κοντύτερος μαζί με το αντικείμενο που θα έπρεπε να μετρήσει.

Τη λύση έδωσαν, όπως αναφέραμε, οι δύο ανιχνευτές LIGO, καθένας από τους οποίους αποτελείται από δύο κάθετους βραχίονες μήκους 4 χιλιομέτρων, μέσα στους οποίους αναπηδούν δύο κάθετες δέσμες λέιζερ.

Τα λέιζερ ουσιαστικά συγκρίνουν διαρκώς το μήκος των δύο κάθετων σωλήνων και καταγράφουν απειροελάχιστες αποκλίσεις, 10.000 φορές μικρότερες από ένα πρωτόνιο – τόσο μικρές που οι μετρήσεις πρέπει να διακόπτονται κάθε φορά που περνά ένα τρένο σε απόσταση πολλών χιλιομέτρων ή ένα δέντρο πέφτει με γδούπο.

Το σήμα που καταγράφηκε στις 14 Σεπτεμβρίου, έδειξε μια απειροελάχιστη μεταβολή, μικρότερη από τη διάμετρο ενός πρωτονίου, στις διαστάσεις των δύο κάθετων σωλήνων μήκους 4 χιλιομέτρων. Με αυτόν τον τρόπο μπορούμε να περιγράψουμε τη βίαιη προέλευσή των βαρυτικών κυμάτων, καθώς η συχνότητα και η ένταση τους στο χρόνο μας αποκαλύπτουν την ιστορία της πηγής που τα δημιούργησε, την μάζα, την ταχύτητα περιστροφής, το σχήμα της τροχιάς, την θέση της και την απόστασή της.

Τα βαρυτικά κύματα λοιπόν μας παρέχουν ένα νέο, επαναστατικό τρόπο παρατήρησης του Σύμπαντος. Τα περισσότερα από όσα γνωρίζουμε για τον Κόσμο προέρχονται από τις παρατηρήσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας – το ορατό και αόρατο φως που φτάνει σε τηλεσκόπια και ραδιοτηλεσκόπια. Το πρόβλημα είναι ότι η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μπλοκάρεται από σύννεφα σκόνης ή άλλα αντικείμενα που βρίσκονται ανάμεσα στην πηγή της ακτινοβολίας και τον παρατηρητή. Αυτό δεν ισχύει για τα βαρυτικά κύματα, τα οποία διαδίδονται στην ίδια την υφή του Σύμπαντος, διαπερνώντας ανενόχλητα ολόκληρους γαλαξίες.

Οι υφιστάμενοι και οι μελλοντικοί ανιχνευτές βαρυτικών κυμάτων θα μπορούσαν λοιπόν να καταγράψουν βίαια φαινόμενα που θα ήταν αδύνατο να δουν τα τηλεσκόπια.

Τα βαρυτικά κύματα πιστεύεται, όπως αναφέραμε, ότι παράγονται από άστρα νετρονίων και μαύρες τρύπες που συγκρούονται ή ακόμα και από γερασμένα άστρα που εκρήγνυνται σε σουπερνόβα (το υλικό τους επιταχύνεται απότομα καθώς εκτοξεύεται προς τα έξω).

Ο κλάδος της Κοσμολογίας θα είχε πολλά να κερδίσει από την παρατήρηση αυτών των ρυτιδώσεων στον χωροχρόνο: βαρυτικά κύματα πιστεύεται ότι κατέκλυσαν ολόκληρο το Σύμπαν μια στιγμή μετά τη Μεγάλη Έκρηξη. Έτσι με τα βαρυτικά κύματα μπορούμε να μελετήσουμε το Σύμπαν πριν ακόμα αρχίσει να ακτινοβολεί, καθώς το πολύ νεαρό Σύμπαν είναι από τη φύση του αδιαφανές στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (ξέρουμε ότι η μικροκυματική ακτινοβολία υποβάθρου είναι η ηλεκτρομαγνητική υπογραφή της Μεγάλης Έκρηξης, μπορεί λοιπόν να υπάρχει κι ένα υπόβαθρο βαρυτικών κυμάτων που ίσως να δημιουργήθηκε με την απότομη διόγκωση του Σύμπαντος στην φάση της πληθωριστικής του διαστολής στα πρώτα τρισεκατομμυριοστά του πρώτου δευτερολέπτου της ύπαρξής του).

Τώρα που η θεωρία επιβεβαιώθηκε, σχεδιάζονται για το μέλλον ακόμα μεγαλύτεροι ανιχνευτές αποτελούμενοι από δορυφόρους, που μετρούν με ακρίβεια την μεταξύ τους απόσταση, μεταφέροντας στο διάστημα την αναζήτηση των βαρυτικών κυμάτων.

Παράδειγμα είναι η αποστολή LISA της ευρωπαϊκής διαστημικής υπηρεσίας ESA, η οποία προγραμματίζεται να εκτοξευτεί το 2034. Η LISA θα προσπαθήσει να ανιχνεύσει βαρυτικά κύματα, καθώς θα καταγράφει με μεγάλη ακρίβεια την απόσταση μεταξύ τριών πανομοιότυπων διαστημοσυσκευών, τοποθετημένων σε τροχιά γύρω από τον Ήλιο, με τρόπο ώστε να σχηματίζουν ένα ισόπλευρο τρίγωνο πλευράς 5 εκατομμυρίων χιλιομέτρων.

Η τεράστια σημασία της ανίχνευσης των βαρυτικών κυμάτων, έγκειται στο ότι επιβεβαίωσε πανηγυρικά τη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας και άνοιξε ένα ακόμη παράθυρο στο Σύμπαν, επιτρέποντας έτσι στους αστρονόμους να συλλέξουν πληροφορίες για φαινόμενα που η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία αδυνατεί να μας μεταφέρει.

3.2 Κβαντική Θεωρία

Είδαμε ότι η σχέση χώρου, χρόνου και ύλης απορρέουν από τη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας του Αϊνστάιν. Η συμπεριφορά όμως της ύλης, στις διαδοχικές φάσεις της ζωής του Σύμπαντος, προβλέπεται από την Κβαντική Φυσική των στοιχειωδών σωματιδίων, η οποία είναι αξιωματικά θεμελιωμένη θεωρία της φυσικής, που αναπτύχθηκε με σκοπό την ερμηνεία φαινομένων που η νευτώνια μηχανική αδυνατούσε να περιγράψει. Η κβαντομηχανική περιγράφει τη συμπεριφορά της ύλης στο μοριακό, ατομικό και υποατομικό επίπεδο. Ο όρος κβάντο αναφέρεται σε διακριτές μονάδες που χαρακτηρίζουν συγκεκριμένες φυσικές ποσότητες, όπως η ενέργεια ενός ατόμου ύλης σε κατάσταση ηρεμίας.

Η κβαντομηχανική είναι μια θεωρία της φυσικής μηχανικής. Θεωρείται πιο θεμελιώδης από την κλασική μηχανική, καθώς εξηγεί φαινόμενα που η κλασική μηχανική και η κλασική ηλεκτροδυναμική αδυνατούν να αναλύσουν, όπως:
1. Την κβάντωση (διακριτοποίηση) πολλών φυσικών ποσοτήτων, όπως για παράδειγμα την κίνηση του ηλεκτρονίου μόνο σε συγκεκριμένες ενεργειακές τροχιές σε ένα άτομο.
2. Τον κυματοσωματιδιακό δυϊσμό, δηλαδή την εκδήλωση, σε ορισμένες περιπτώσεις, κυματικής συμπεριφοράς από σωματίδια ύλης, κυρίως ηλεκτρόνια.
3. Τον κβαντικό εναγκαλισμό, που σχετίζεται με την περιγραφή της κατάστασης ενός συστήματος από επαλληλία καταστάσεων.
4. Το φαινόμενο σήραγγας, χάρη στο οποίο σωματίδια μπορούν να υπερπηδήσουν φράγματα δυναμικού και να βρεθούν σε περιοχές του χώρου απαγορευμένες από την κλασική μηχανική.

Πραγματικά, η θεωρία της σχετικότητας και η θεωρία των κβάντα ήταν δυο νέες θεωρίες που επέφεραν ριζικές **αλλαγές** στον τρόπο που αντιλαμβανόμαστε και περιγράφουμε τον φυσικό κόσμο και μας έδωσαν τη δυνατότητα να δούμε μέσα από νέο πρίσμα τη δομή και εξέλιξη του Σύμπαντος. Προς την ίδια κατεύθυνση κινούνται και οι νεότερες θεωρίες που αποβλέπουν στην ενοποίηση των δυνάμεων της Φύσεως[6]. Οι **αλλαγές** αυτές, που σήμερα είναι στη βάση όλης της σύγχρονης Φυσικής, δεν ήταν εύκολο να παρατηρηθούν, επειδή γίνονται αισθητές σε συνθήκες μακριά από την καθημερινή εμπειρία. Οι αλλαγές που εισάγει η ειδική θεωρία της σχετικότητας αρχίζουν να γίνονται αισθητές για μεγάλες ταχύτητες που προσεγγίζουν την ταχύτητα του φωτός στο κενό,

$$C \approx 300{,}000 \text{ km/sec}$$

Οι συνέπειες της γενικής θεωρίας της σχετικότητας γίνονται αισθητές για πάρα πολύ μεγάλα (σε σχέση με το γήινο) πεδία βαρύτητας. Οι «αλλαγές» που εισάγει η κβαντική θεωρία – Κβαντομηχανική αφορούν μικροσκοπικά αντικείμενα με τυπικές διαστάσεις μερικών Ångstrom, Å ($1Å = 10^{-10}$m) και μικρότερες. Ως κλασικό μέτρο σύγκρισης αναφέρουμε την ακτίνα του ατόμου του υδρογόνου $α_0$, που έχει μέγεθος $α_0 \approx 0.52$ Å. Στο όριο των μικρών (ως προς το c) ταχυτήτων και μεγάλων (ως προς το μέγεθος του ατόμου, >> 0.52 Å) διαστάσεων η κλασική περιγραφή είναι ικανοποιητική. Στην κβαντική θεωρία η απαίτηση για σύμπτωση της κλασικής και κβαντικής περιγραφής σε κάποιο όριο είναι γνωστή ως **«αρχή της αντιστοιχίας».**

---

6. Βλεπε σελ. 160 - 169

Σύμφωνα με την αρχή της αντιστοιχίας, τα αποτελέσματα της κβαντομηχανικής μελέτης ενός συστήματος συμπίπτουν, σε κάποιο συγκεκριμένο όριο, με αυτά της Κλασικής Φυσικής και τα φαινόμενα περιγράφονται με τους νόμους της δεύτερης. Αυτό συμβαίνει για καλά καθορισμένα κυματοπακέτα, στο όριο των "μεγάλων κβαντικών αριθμών", όταν $n \to \infty$ ή ακόμα όταν $\hbar \to 0$ ή $m \to \infty$, δηλαδή όταν εξετάζουμε μακροσκοπικά σώματα.
Στην κβαντική θεωρία η περιγραφή όλων των φυσικών φαινομένων γίνεται με την εισαγωγή της θεμελιώδους φυσικής σταθεράς ħ. Η κλασική φυσική και η θεωρία της σχετικότητας (γενική και ειδική) αποτελούν από κοινού τη λεγόμενη «φυσική χωρίς το ħ». Η σταθερά ħ για την κβαντική θεωρία έχει ρόλο εξίσου θεμελιώδη με τον ρόλο της σταθεράς c (ταχύτητα του φωτός) στη θεωρία της σχετικότητας. Η σταθερά ħ συνδέεται με την περίφημη **σταθερά του Planck h,** με τη σχέση $\hbar = h/2\pi$ και η αριθμητική τιμή της είναι:
$\hbar = 1.0546 \times 10^{-34}$ J ·sec. Η πολύ μικρή τιμή αυτής της σταθεράς είναι υπεύθυνη για το ότι τα κβαντικά φαινόμενα δεν παρατηρούνται συνήθως σε σώματα μακροσκοπικών διαστάσεων.
Η σταθερά του Planck που παίζει με τη σειρά της κεντρικό ρόλο στη θεωρία της κβαντικής μηχανικής, είναι μια φυσική σταθερά που χρησιμοποιείται για να περιγράψει το μέγεθος των κβάντα. Πήρε την ονομασία της από τον Max Planck, έναν από τους θεμελιωτές της κβαντικής θεωρίας.

Το 1900, ο Max Planck δούλευε πάνω στο πρόβλημα του πώς η ακτινοβολία που εκπέμπει ένα σώμα σχετίζεται με τη θερμοκρασία του. Κατέληξε σε ένα τύπο που συμφωνούσε πάρα πολύ με τα πειραματικά δεδομένα, αλλά ο τύπος είχε νόημα μόνο αν υπέθετες ότι η ενέργεια ενός δονούμενου μορίου ήταν κβαντισμένη - δηλαδή, ότι μπορούσε να πάρει μόνο συγκεκριμένες τιμές. Η ενέργεια όφειλε να είναι ανάλογη της συχνότητας δόνησης και φαινόταν ότι προσφερόταν σε μικρές «μπουκιές» ίσες με την συχνότητα πολλαπλασιασμένη επί ένα σταθερό αριθμό. Ο αριθμός αυτός κατέληξε να γίνει γνωστός ως η σταθερά του Plank, ή h, και έχει την τιμή:
$h = 6.626 \times 10^{-34}$ J·s

Η σταθερά του Planck έχει μονάδα ενέργειας πολλαπλασιαζόμενη επί μονάδα χρόνου, η οποία είναι και η μονάδα της δράσης.
Μαζί με την ταχύτητα του φωτός, είναι οι δύο θεμελιώδεις φυσικές σταθερές.

Βασικό αξίωμα της Κβαντικής Μηχανικής είναι η **αρχή της απροσδιοριστίας** ή διαφορετικά **αρχή της αβεβαιότητας,** που διατυπώθηκε από τον Χάιζενμπεργκ το 1927. Σύμφωνα με την αρχή της απροσδιοριστίας, είναι αδύνατο να μετρήσουμε με απεριόριστη ακρίβεια τη θέση και την ορμή ενός σωμάτιου ταυτόχρονα. Με άλλα λόγια, το γινόμενο της αβεβαιότητας Δχ της θέσης ενός σωματιδίου επί την αβεβαιότητα της ορμής του σωματιδίου Δρ, δεν δύναται να γίνει μικρότερο της σταθεράς του Planck (που είναι η ίδια για όλα τα συστήματα αναφοράς, αδρανειακά και μη) $Δχ \cdot Δρ \geq h$ (έτσι το h αποτελεί ένα μέτρο της απροσδιοριστίας στη φύση).
Εν αντιθέσει λοιπόν με την αρχή της αιτιοκρατίας, σύμφωνα με την αρχή της απροσδιοριστίας, υπάρχουν γεγονότα των οποίων η εκδήλωση δεν υπαγορεύεται από κάποια αιτία.

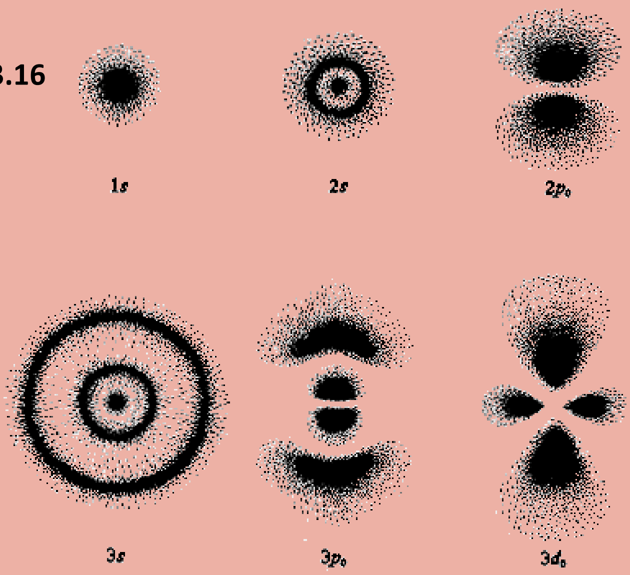
Η απροσδιοριστία αυτή δεν αναφέρεται στην ανικανότητα του ανθρώπου να παρατηρήσει ορισμένα φαινόμενα στον μικρόκοσμο, αλλά σε μία πραγματική ιδιότητα του Φυσικού Κόσμου, η οποία εμφανίζεται και πειραματικά. Ο λόγος που δεν βλέπουμε αυτή την αβεβαιότητα στην καθημερινότητα είναι ότι εμφανίζεται σε πολύ μικρή κλίμακα και γίνεται κυρίως εμφανής στον μικρόκοσμο.

Υπάρχουν και άλλες εκφράσεις της αρχής της απροσδιοριστίας. Μια από αυτές είναι η εξής: $ΔE \cdot Δt \geq \hbar/2$
Όσο πιο αργά μεταβάλλεται ένα φυσικό σύστημα (Δt μεγάλο), τόσο πιο καλά καθορισμένη είναι η ενέργεια του (ΔΕ μικρό). Και αντίστροφα, όσο πιο γρήγορος είναι ο ρυθμός μεταβολής του (Δt μικρό), τόσο πιο μεγάλη είναι η αβεβαιότητα στην ενέργεια του (ΔΕ μεγάλο). Με διαφορετική διατύπωση: Η αβεβαιότητα στη μέτρηση της ενέργειας μιας κατάστασης ενός συστήματος είναι αντίστροφα ανάλογη με τον χρόνο που το σύστημα παραμένει σ' αυτή την κατάσταση.

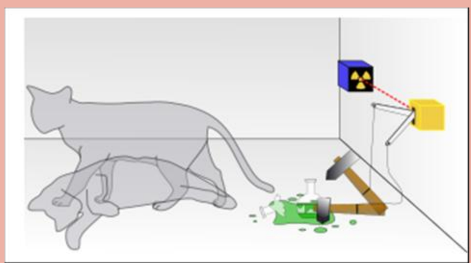
Η νέα αντίληψη που έφερε η κβαντομηχανική για τη μορφή του ατόμου απεικονίζεται στο σχήμα 3.16. Η πιο κάτω εικόνα εμφανίζει μερικά σχήματα στο χώρο, στις περιοχές των οποίων υπάρχει πιθανότατα να βρεθεί ένα ηλεκτρόνιο σε ένα άτομο υδρογόνου (ο πυρήνας είναι στο κέντρο κάθε σχήματος). Τα σχήματα αυτά ονομάζονται τροχιακά.

Αντί λοιπόν να έχουμε τροχιές, έχουμε τροχιακά. Αντί να ξέρουμε με ακρίβεια την ακτίνα των τροχιών, γνωρίζουμε την πιθανότητα να βρούμε ένα ηλεκτρόνιο σε μια δεδομένη θέση και με δεδομένη ενέργεια[7].

Σχήμα 3.16



Στην συνέχεια θα δούμε το νοητικό πείραμα της γάτας του Σρέντινγκερ, που αφορά το πρόβλημα της εφαρμογής της κβαντομηχανικής σε μακροσκοπικά αντικείμενα.



7. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι γιατί η ύλη συμπεριφέρεται πολύ περίεργα κβαντικά. «Τα μικροσκοπικά σωματίδια απλώνονται στο χώρο, σαν να ήταν κύματα και έχουν μάζα και θολά προσδιορισμένες θέσεις, χαρακτηριστικά μάλλον σωματιδιακά. Το πάντρεμα των δύο διαφορετικών κόσμων, του κυματικού και του σωματιδιακού, γίνεται μέσω της λεγόμενης ''κυματοσυνάρτησης''».

«Σε κάθε σωματίδιο αντιστοιχεί μια ''κυματοσυνάρτηση'' το τετράγωνο της οποίας δίνει την πιθανότητα να βρίσκεται το σωματίδιο σε κάποια συγκεκριμένη θέση. Αυτή η κυματοσυνάρτηση, είναι συνάρτηση του χώρου και λαμβάνει τιμές σε όλα τα σημεία του χώρου. Υπάρχει λοιπόν πιθανότητα να βρούμε το σωματίδιο σε διάφορες περιοχές, όταν μετρήσουμε τη θέση του» (βλέπε σύγγραμμα του Θεοδωράκη, Σ. (1999) *«Το κενό που κοχλάζει»*. Εκδόσεις Δίαυλος, Αθήνα, σσ. 52 - 53).

Η γάτα του Σρέντινγκερ είναι ένα νοητικό πείραμα, που χαρακτηρίζεται και ως παράδοξο, επινοήθηκε από τον Αυστριακό φυσικό Έρβιν Σρέντινγκερ (Erwin Schrödinger) το 1935. Αναπαριστά αυτό που είδε ως το πρόβλημα στην ερμηνεία της Κοπεγχάγης για την κβαντομηχανική στην εφαρμογή της σε καθημερινά αντικείμενα. Το σενάριο παρουσιάζει μια γάτα, η οποία μπορεί να είναι ταυτόχρονα ζωντανή και νεκρή, με την κατάστασή της να συνδέεται με προηγούμενο τυχαίο γεγονός. Το νοητικό πείραμα συναντάται συνήθως σε θεωρητικές συζητήσεις για τις ερμηνείες της κβαντομηχανικής.

> Σύμφωνα με τον Σρέντινγκερ: Μια γάτα κλειδώνεται σε ένα ατσάλινο θάλαμο, μαζί με την εξής διάταξη (η οποία βρίσκεται με ασφάλεια εκτός εμβέλειας της γάτας): σε έναν μετρητή γκάιγκερ υπάρχει μια ελάχιστη ποσότητα ραδιενεργής ουσίας, τόσο μικρής, που κατά τη διάρκεια μιας ώρας ένα από τα άτομα διασπάται, αλλά επίσης ισοπίθανα, ίσως και όχι. Αν συμβεί αυτό ο μετρητής ενεργοποιείται και μέσω ενός διακόπτη (ρελέ) απελευθερώνει ένα σφυρί που σπάει μια μικρή φιάλη με υδροκυάνιο. Αν κάποιος αφήσει αυτό το σύστημα μόνο του για μια ώρα, μπορεί να υποθέσει ότι η γάτα είναι ακόμα ζωντανή, εάν στο μεταξύ δεν έχει διασπαστεί κάποιο άτομο. Η κυματοσυνάρτηση του συστήματος μπορεί να το εκφράσει, αν υπάρχει σε αυτή και η ζωντανή και η νεκρή γάτα αναμεμιγμένες ή διάχυτες εξίσου. Κλασικά τέτοιες περιπτώσεις απροσδιοριστίας αρχικά περιορισμένες στο ατομικό επίπεδο, μετασχηματίζονται σε μακροσκοπικές απροσδιοριστίες, οι οποίες μπορούν να επιλυθούν με απευθείας παρατήρηση. Αυτό μας εμποδίζει από το να δεχτούμε έτσι αφελώς ένα "θολό μοντέλο" που αναπαριστά την πραγματικότητα. Από μόνο του δεν συμπεριλαμβάνει τίποτα ασαφές ή αντιφατικό.

Το περίφημο νοητικό πείραμα του Σρέντινγκερ θέτει το ερώτημα, "πότε ένα κβαντικό σύστημα σταματάει να υπάρχει σε μια **κβαντική υπέρθεση** καταστάσεων και γίνεται το ένα ή το άλλο;" Αλλά επεξηγήσεις του **παράδοξου EPR** που είναι συνεπείς με την κλασική μικροσκοπική κβαντομηχανική απαιτούν ότι μακροσκοπικά αντικείμενα, όπως οι γάτες και οι φορητοί υπολογιστές, δεν έχουν πάντα μοναδική κλασική περιγραφή. Το νοητικό πείραμα απεικονίζει αυτό το φαινομενικό παράδοξο. Η διαίσθησή μας προστάζει ότι κανένας παρατηρητής δε μπορεί να βρίσκεται σε μίξη καταστάσεων, όμως η γάτα, όπως φαίνεται από το νοητικό πείραμα, μπορεί να είναι αυτή η μίξη. Χρειάζεται η γάτα να γίνει παρατηρητής, ή από μόνη της η ύπαρξη σε μια καλά καθορισμένη κλασική κατάσταση απαιτεί κάποιον εξωτερικό παρατηρητή; Για τον Άλμπερτ Αϊνστάιν, ο οποίος αμφισβητούσε την κβαντομηχανική, κάθε εναλλακτική λύση φαίνεται παράλογη. Ο ίδιος εντυπωσιάστηκε από την ικανότητα του νοητικού πειράματος να τονίζει αυτά τα θέματα.

<u>Αντίλογος</u>: "Πράγματι, η θέση και η ταχύτητα ενός ηλεκτρονίου δεν είναι δυνατό να καθοριστούν την ίδια χρονική στιγμή, αλλά κάτι τέτοιο σημαίνει απλώς ότι αυτές δεν είναι οι κατάλληλες ποσότητες που πρέπει να χρησιμοποιούμε για την περιγραφή του. Αυτό που χαρακτηρίζει το ηλεκτρόνιο ή οποιοδήποτε σύνολο σωματιδίων κάθε χρονική στιγμή είναι μια κυματοσυνάρτηση. Αν υπάρχει ένας άνθρωπος που παρατηρεί τα σωματίδια, τότε η κατάσταση ολόκληρου του συστήματος, συμπεριλαμβανομένου του παρατηρητή, περιγράφεται από μια ενιαία κυματοσυνάρτηση". Steven Weinberg

<u>Σημείωση</u>: Η <u>κβαντική υπέρθεση</u> είναι ένα θεμελιώδες φαινόμενο της κβαντομηχανικής. Κατά την υπέρθεση, δύο κβαντικές καταστάσεις προστίθενται μεταξύ τους με τρόπο που τους επιτρέπει να συνυπάρχουν ταυτόχρονα. Με αυτό τον τρόπο, κάθε κβαντική κατάσταση μπορεί να περιγραφεί ως το άθροισμα πολλαπλών διακριτών βασικών καταστάσεων.

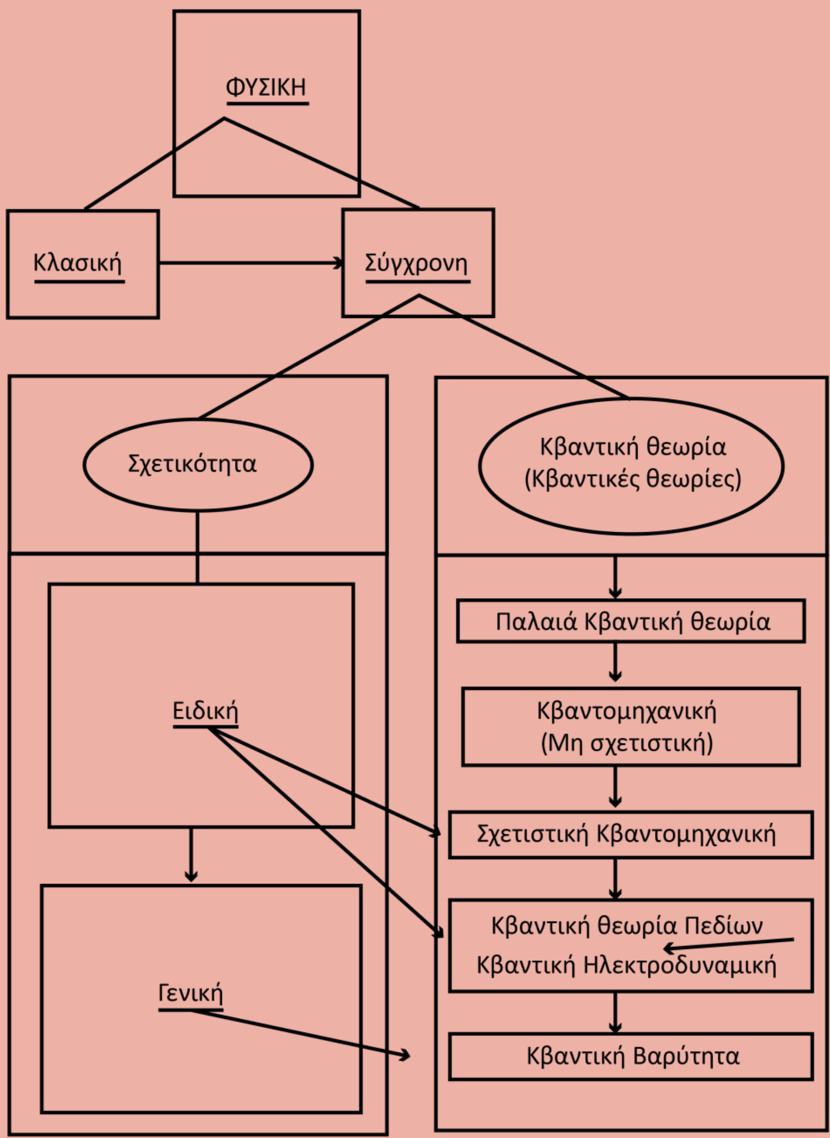
Το <u>Παράδοξο EPR</u> (από τα αρχικά των ονομάτων των φυσικών που το διατύπωσαν το 1935: Einstein, Podolsky και Rosen) λέει πως: "Αν μπορούμε, χωρίς καθόλου να διαταράξουμε ένα σύστημα, να προβλέψουμε με βεβαιότητα την τιμή ενός φυσικού μεγέθους, τότε υπάρχει κάποιο στοιχείο φυσικής πραγματικότητας που αντιστοιχεί σ' αυτό το φυσικό μέγεθος".

Η κβαντική θεωρία που ξεκίνησε την ίδια περίπου εποχή με την ειδική θεωρία της σχετικότητας (1905), εξελίχθηκε και ολοκληρώθηκε διαδοχικά σε **Κβαντομηχανική, Σχετικιστική Κβαντομηχανική και Κβαντική Θεωρία Πεδίου**. Από τις αρχές του 20ου αιώνα και μέχρι την πλήρη θεμελίωση της**,** 25 χρόνια αργότερα, είναι γνωστή ως **παλαιά Κβαντική Θεωρία**. Η παλαιά κβαντική θεωρία περιέχει ένα πολύ μεγάλο μέρος από τη Φυσική και τον πλούτο των ιδεών της Κβαντομηχανικής, χωρίς τον σύνθετο μαθηματικό φορμαλισμό της τελευταίας. Σήμερα, κάτω από το γενικό όρο **«Κβαντική Θεωρία»,** περιλαμβάνονται:

- **Η (μη σχετικιστική) κβαντομηχανική,** η οποία είναι μια σχετικά πλήρης φυσική θεωρία για την περιγραφή σωματιδίων του μικρόκοσμου, που κινούνται με ταχύτητες πολύ μικρότερες από την ταχύτητα c του φωτός.
- **Η σχετικιστική κβαντομηχανική,** η οποία συνδυάζει τις βασικές αρχές της κβαντομηχανικής και της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας. Η θεωρία αυτή δημιουργήθηκε για την περιγραφή σωματιδίων του μικρόκοσμου με ταχύτητες (μικρότερες βέβαια, αλλά) όχι αμελητέες ως προς τη c.
- **Η κβαντική θεωρία πεδίου,** που χρησιμεύει κυρίως για την περιγραφή αλληλεπιδράσεων μεταξύ σωματιδίων του μικρόκοσμου, κατά τις οποίες μεταβάλλεται η φύση ή/και το πλήθος των σωματιδίων. Κατά τις αλληλεπιδράσεις αυτές συμβαίνουν μετατροπές ενέργειας σε ύλη και αντιστρόφως (όπως προβλέπει η ειδική θεωρία της σχετικότητας) και επομένως η πρακτικά χρησιμότερη μορφή της θεωρίας αυτής είναι σχετικιστική. Η μεγάλη επιτυχία της κβαντικής θεωρίας πεδίου είναι η ακριβέστατη κβαντική περιγραφή του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου και της αλληλεπίδρασης των ηλεκτρονίων μ' αυτό. Το μέρος αυτό της κβαντικής θεωρίας πεδίου ονομάζεται **κβαντική ηλεκτροδυναμική**.
- **Η κβαντική βαρύτητα,** η οποία συνδυάζει τη γενική θεωρία της σχετικότητας με την κβαντική θεωρία πεδίου. Η θεωρία αυτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη στην κοσμολογία για την περιγραφή των αρχικών σταδίων στην εξέλιξη του σύμπαντος.

<u>Σημείωση</u>: Η κβαντομηχανική δεν είναι μια θεωρία που προέκυψε από τη φαντασία ενός φυσικού. Οι περισσότεροι φυσικοί την αποδέχτηκαν κάτω από την πίεση των πειραματικών δεδομένων, μια και ερχόταν σε σύγκρουση με τις καθιερωμένες τους αντιλήψεις. Μερικοί μάλιστα, όπως ο Αϊνστάιν, συνέχισαν να την αμφισβητούν μέχρι το τέλος της ζωής τους. (Επειδή η κβαντική θεωρία στηρίζεται σε πιθανότητες όπως έλεγε «Ο θεός δεν παίζει ζάρια»).

Το ακόλουθο Διάγραμμα 3.17 δείχνει τη διαίρεση της Σύγχρονης Φυσικής.



Διάγραμμα 3.17: Διαίρεση της Σύγχρονης Φυσικής.
Οι γραμμές με βέλη δείχνουν τι προήλθε από τι κατά την ιστορική εξέλιξη της Φυσικής, ενώ οι γραμμές χωρίς βέλη δείχνουν τί υπάγεται πού και συνθέτουν ένα σχήμα ταξινόμησης των διαφόρων κλάδων. Το αριστερό μέρος του διαγράμματος αποτελεί τη Φυσική χωρίς το ħ.

3.3 Νεότερες θεωρίες

3.3.1 Μεγάλες Ενοποιητικές Θεωρίες GUT και Υπερχορδές

Οι σύγχρονες ενσαρκώσεις των ενοποιημένων θεωριών πεδίου έρχονται σε δύο «γεύσεις».

(α) Θεωρίες GUT: Η πιο παραδοσιακή εκδοχή, οι λεγόμενες Μεγάλες Ενοποιημένες Θεωρίες (Grand Unified Theories - GUT) πρωτοεμφανίζονται το 1974 από τους Georgi και Glashow και βρίσκονται σε εξέλιξη. Ο όρος συναντάται το 1978 σε ένα paper του Δημήτρη Νανόπουλου στο Harvard.

Παρά την εκπληκτική πειραματική του επιτυχία, το STANDARD MODEL, εμφάνιζε αδυναμίες, και οι φυσικοί κατά τα τέλη της δεκαετίας του ΄70 προσπάθησαν να διατυπώσουν μια νέα θεωρία, τη Μεγάλη Ενοποιητική Θεωρία GUT, η οποία αναφέρεται σε διάφορα παραπλήσια μοντέλα της σωματιδιακής φυσικής. Τα μοντέλα αυτά αναφέρονται σε κλίμακες υψηλής ενέργειας, όπου σύμφωνα με το καθιερωμένο κοσμολογικό μοντέλο προσδιορίζονται τρεις αλληλεπιδράσεις βαθμίδας (gauge interactions), οι ηλεκτρομαγνητικές, οι ασθενείς και οι ισχυρές. Στις ενοποιητικές θεωρίες αυτές οι τρεις αλληλεπιδράσεις ενώνονται σε μια μόνη αλληλεπίδραση που χαρακτηρίζεται από μια μεγαλύτερη συμμετρία βαθμίδας και μια ενοποιημένη σταθερά. Η Μεγάλη Ενοποιητική Θεωρία GUT βάζει στην ίδια κατηγορία τα λεπτόνια και τα κουάρκ, ενώ παράλληλα συγκαταλέγει σε κοινή ομάδα τα σωματίδια αγγελιαφόρους - φωτόνιο, μποζόνια W, Z, γλοιόνιο. Από τότε διατυπώθηκαν διάφορες θεωρίες GUT οι οποίες επαγγέλλονται την ενοποίηση των τριών δυνάμεων εκτός από τη βαρύτητα, επιδιώκουν δηλαδή να περιγράψουν τον ηλεκτρομαγνητισμό, την ασθενή και την ισχυρή πυρηνική δύναμη, ως μια ενιαία δύναμη. Ενώ το STANDARD MODEL προβλέπει μόνο την ενοποίηση της ηλεκτρομαγνητικής με την ασθενή.

Ωστόσο, το STANDARD MODEL συνιστά μια θεωρία επιβεβαιωμένη σε σημαντικό βαθμό, ενώ οι GUT στο μεγαλύτερο μέρος δεν έχουν εργαστηριακά επιβεβαιωθεί. Για παράδειγμα, μία από τις προβλέψεις τους για την αστάθεια του πρωτονίου δεν επιβεβαιώνεται. Για δεκαετίες, πειράματα με ολοένα αυξανόμενη ευαισθησία προσπάθησαν να βρουν πρωτόνια που είχαν διασπαστεί και δυστυχώς δεν τα βρήκαν. Μια άλλη πρόβλεψη της GUT δεν πήγε και καλύτερα: διασυνδεδεμένα πεδία που αλληλεπιδρούν, που ονομάζονται μαγνητικά μονόπολα, δεν έχουν ποτέ βρεθεί.

Οι GUT χρησιμοποιούν την ιδέα της αυθόρμητης ρήξης συμμετρίας, η οποία αξιοποιήθηκε από την Ηλεκτρασθενή θεωρία για την ενοποίηση της Ηλεκτρομαγνητικής αλληλεπίδρασης με την Ασθενή, κάνοντας θεωρητικές προτάσεις για μια ενοποίηση της Ηλεκτρασθενούς με την Ισχυρή.

Μία από τις θεωρίες GUT είναι και το μοντέλο «standard» SU(5) των Howard Georgi (Χάουαρντ Τζορτζάϊ) – Sheldon Glashow (Σέλντον Γκλάσοου). Σε αυτό οι standard model ομάδες βαθμίδας SU(3)×SU(2)×U(1) συνδυάζονται με μία απλή ομάδα βαθμίδας την SU(5). Το ενοποιημένο μοντέλο SU(5) που προκύπτει προτείνει μία αυθόρμητη ρήξη συμμετρίας σε υποομάδα του standard model η οποία θα πραγματοποιηθεί σε μια ενεργειακή κλίμακα υψηλών ενεργειών που λέγεται κλίμακα της μεγάλης ενοποίησης.

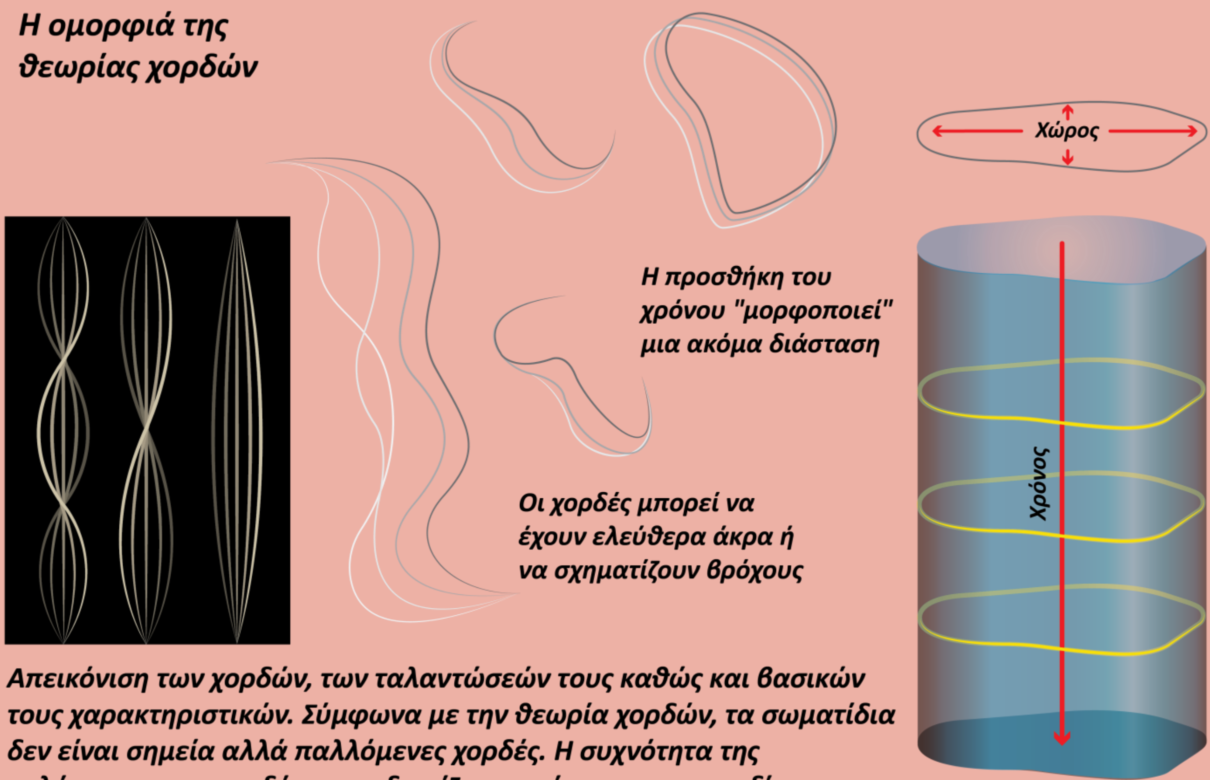
Παρακάτω θα δούμε τι είναι οι συμμετρίες που μόλις αναφέρθηκαν: Αρχικά εστιάζουμε στο φαινόμενο ισχυρή αλληλεπίδραση μεταξύ δύο κουάρκ. Καθένα τους είναι δυνατόν να «έχει» ένα από τα τρία (colours) χρώματα. Ας υποθέσουμε ότι οι εξισώσεις που περιγράφουν την ισχυρή αυτή αλληλεπίδραση παραμένουν ίδιες όταν εναλλάσσονται οι τρεις τύποι – χρώματα των κουάρκ. Τότε λέμε ότι οι εξισώσεις έχουν συμμετρία SU(3).
Τώρα όσον αφορά τις άλλες αλληλεπιδράσεις, το ηλεκτρόνιο και το νετρίνο αλληλεπιδρούν. Αν στην εξίσωση που περιγράφει τη μεταξύ τους αλληλεπίδραση τα εναλλάξουμε και η εξίσωση διατηρηθεί, έχουμε συμμετρία SU(2).
Το φωτόνιο ανήκει στην ομάδα συμμετρίας U(1)
Έτσι η ομάδα συμμετρίας των ασθενών και των ηλεκτρομαγνητικών αλληλεπιδράσεων είναι η SU(2) X U(1).
Από την ένωση των τριών αυτών συμμετριών προκύπτει
η συμμετρία SU(3) X SU(2) X U(1) που επιτρέπει την ανάμειξη τριών κουάρκ και την ανάμειξη δύο λεπτονίων χωρίς όμως να αναμειγνύει λεπτόνια και κουάρκ. Η θεωρία που προκύπτει είναι το STANDARD MODEL.
Τέλος όπως είδαμε υπάρχουν οι διάφορες GUT, GRAND UNIFIED THEORIES.
Η πιο απλή από τις θεωρίες αυτές επιτρέπει την ταυτόχρονη εναλλαγή και των πέντε σωματιδίων. Σε αντίθεση με την STANDARD MODEL, αυτή μπορεί και αναμειγνύει λεπτόνια και κουάρκ
Οι μεγάλες δηλαδή ενοποιητικές Θεωρίες, οι GUT, έχουν συμμετρία SU(5).

<u>Σημείωση</u>: Η περιγραφή της διάσπασης των μποζονίων Χ (τα σωματίδια της μοναδικής υπερδύναμης που υπήρχε στην αρχή του Κόσμου) από τις GUTs λέει ότι ένα ενεργητικό πρωταρχικό Σύμπαν, που δημιουργήθηκε με ίσους αριθμούς Χ και αντι-Χ, θα εξελιχθεί σε μια κατάσταση η οποία θα συμπεριλαμβάνει ένα μικρό υπόλοιπο ύλης (ενώ θα έχουν ήδη περάσει $\sim 10^{-35}$ δευτερόλεπτα από τη στιγμή της δημιουργίας).

(β) Υπερχορδές: Η πιο φιλόδοξη εκδοχή, η θεωρία Υπερχορδών (Superstrings Theory), επιδιώκει να συμπεριλάβει και τη βαρύτητα στο πλαίσιο της ενοποίησης. Η θεωρία υπερχορδών προσπαθεί, όπως θα δούμε στη συνέχεια, να κάνει αυτή την ενοποίηση εγκαταλείποντας την μακραίωνη παράδοση ότι η ύλη αποτελείται από μικρά αδιαίρετα τμήματα, και υποκαθιστώντας την με παλλόμενες χορδές που ζουν σε χώρους υψηλότερων διαστάσεων (βλέπε εικ. 3.18).

Οι θεωρίες χορδών είναι μοντέλα της φυσικής στα οποία τα θεμελιώδη δομικά στοιχεία είναι μονοδιάστατα εκτεταμένα αντικείμενα (Χορδές), σε αντίθεση με την παραδοσιακή έννοια των σημειακών και αδιάστατων στοιχειωδών σωματιδίων. Οι θεωρίες χορδών αποφεύγουν με αυτό τον τρόπο τα προβλήματα και τις ανωμαλίες που προκύπτουν στις φυσικές θεωρίες, λόγω της σημειακής φύσης των σωματιδίων.

Εικόνα 3.18



Απεικόνιση των χορδών, των ταλαντώσεών τους καθώς και βασικών τους χαρακτηριστικών. Σύμφωνα με την θεωρία χορδών, τα σωματίδια δεν είναι σημεία αλλά παλλόμενες χορδές. Η συχνότητα της ταλάντωσης της χορδής, προσδιορίζει τον τύπο του σωματιδίου. Η κίνηση της χορδής, λαμβάνοντας υπόψη και τον χρόνο κατά τον οποίο συμβαίνει, διαγράφει μια κοσμική επιφάνεια, όπως απεικονίζεται εδώ.

Ένα από τα σοβαρά εμπόδια που υψώνονται στον δρόμο προς την ενοποίηση είναι το πρόβλημα των απειρισμών. Όσο πιο κοντά βρίσκονται τα μποζόνια - αγγελιαφόροι στα σωματίδια από τα οποία προέκυψαν, τόσο μεγαλύτερη είναι και η ενέργειά τους. Η τιμή αυτή της ενέργειας δεν έχει όρια και μπορεί να γίνει άπειρη, αφού στο Standard Model τα σωματίδια δεν έχουν διάσταση και σε κάθε στιγμή «κατοικούν» σε ένα γεωμετρικό σημείο του χώρου, οπότε τίποτα δεν εμποδίζει την απόσταση του αγγελιαφόρου να γίνεται μηδέν και την τιμή της ενέργειάς του να γίνεται άπειρη.

Το πρόβλημα αυτό είναι που στο τέλος της δεκαετίας του ΄60 κυοφόρησε την οπωσδήποτε πρωτοφανή ιδέα των Χορδών. Αντί να είναι αντικείμενα χωρίς διάσταση τα σωματίδια της Ύλης, έγιναν απείρως λεπτές χορδές strings που ξεδιπλώνονται σε μια Διάσταση, κάτι σαν πάρα πολύ λεπτά μακαρόνια.

Σύμφωνα με τη σχετική θεωρία, τα quarks είναι κατασκευασμένα από strings. Τα strings αυτά, τρισεκατομμύρια τρισεκατομμυρίων φορές μικρότερα από ένα άτομο περιγράφονται σαν μαθηματικές καμπύλες, απειροελάχιστες χορδές που υπάρχουν και κινούνται μέσα στο χωροχρόνο. Αυτά τα αντικείμενα, είναι τόσο μικρά που δεν είναι ορατά ούτε με το πιο ισχυρό μικροσκόπιο, είτε είναι ανοιχτά σαν ένα κομμάτι σπάγκου είτε κλειστά σαν μια θηλιά. Καθώς περιφέρονται στον υποατομικό μικρόκοσμο, οι χορδές αυτές πάλλονται σαν τις χορδές ενός βιολιού. Μόνο που αντί να παράγουν μουσικούς ήχους, οι πολύπλοκες αρμονίες τους παράγουν ενέργεια και κατά συνέπεια (σύμφωνα με τη Θεωρία του Einstein) μάζα, δηλαδή τα στοιχειώδη σωματίδια από τα οποία είναι κατασκευασμένο ολόκληρο το σύμπαν.

Οι πρώτοι υπολογισμοί με βάση την έννοια Χορδή δεν ήταν ενθαρρυντικοί και οι θεωρητικοί κατέφυγαν στη βοήθεια της Υπερσυμμετρίας. Στην αγκαλιά της Susy οι χορδές έγιναν Υπερχορδές[8]. Η Υπερσυμμετρία ωστόσο έφερε και ένα καλεσμένο έκπληξη, το σωματίδιο βαρυτόνιο, τον αγγελιαφόρο της βαρύτητας. Έτσι, χωρίς να το επιδιώξουν, μολονότι το αρχικό κίνητρο ήταν να ξεφορτωθούν το άπειρο, οι φυσικοί εισήγαγαν στη θεωρία των Υπερχορδών και τη βαρύτητα. Η θεωρία των Υπερχορδών δείχνει να υπόσχεται την τόσο αναμενόμενη ενοποίηση των τεσσάρων δυνάμεων του σύμπαντος.

Η θεωρία των Υπερχορδών - Superstring Theory - μας λέει ότι οι υπερχορδές έχουν ένα ελάχιστο μήκος στα 10^{-33} εκατοστά που δεν είναι άλλο από το λεγόμενο "μήκος του Planck" στο οποίο η βαρύτητα θεωρείται ισοδύναμη με τις άλλες αλληλεπιδράσεις. Κεντρική θεώρηση είναι ότι καθένα από τα σωματίδια Ύλης/ μάζας και Ύλης/ ακτινοβολίας, είναι μια συγκεκριμένη εκδήλωση των δονήσεων των υπερχορδών. Η ενέργεια κάθε είδους δόνησης αντιστοιχεί σε ένα σωματίδιο του οποίου η μάζα είναι ίση με την ενέργεια δόνησης δια του τετραγώνου της ταχύτητας του φωτός. Έτσι, το πρωτόνιο (που σύμφωνα με το Standard Model συγκροτείται από τρία κουάρκ) δεν είναι παρά ένα τρίο υπερχορδών που ταλαντώνονται, με κάθε υπερχορδή να αντιστοιχεί σε ένα κουάρκ.

Υπάρχει ένα τουλάχιστον σημείο όπου η θεωρία χορδών φαίνεται πως επιβεβαιώνεται για τα αδρόνια. Όπως γνωρίζουμε ήδη, τα αδρόνια αποτελούνται από κουάρκ, τα οποία αλληλεπιδρούν μεταξύ τους μέσω μιας δύναμης ασκούμενης από το ένα στο άλλο. Μπορούμε να φανταστούμε τους δεσμούς που δημιουργεί η δύναμη αυτή σαν "λαστιχάκια" που συγκρατούν τα κουάρκ μεταξύ τους. Πράγματι, έτσι ερμηνεύεται το γεγονός ότι, η δύναμη μεταξύ των κουάρκ αυξάνεται, όσο αυξάνεται και η μεταξύ τους απόσταση. Και όσο τα κουάρκ απομακρύνονται μεταξύ τους, τόσο η αλληλεπίδρασή τους μοιάζει σαν να προέρχεται από μια τεντωμένη ελαστική χορδή. Η συγκεκριμένη δύναμη μάλιστα, είναι τόσο ισχυρή, ώστε η ενέργεια αλληλεπίδρασης είναι συγκρίσιμη με τη μάζα ηρεμίας των κουάρκ. Σε αυτές τις συνθήκες η "ελαστική χορδή" καταλήγει να είναι σημαντικότερη από τα ίδια τα κουάρκ. Επομένως, αν περιγράφουμε το σύστημα μόνο μέσω των χορδών, δεν κάνουμε μεγάλο λάθος.

8. Η προσθήκη της υπερσυμμετρίας στη θεωρία χορδών της επέτρεψε να περιγράψει και φερμιόνια εκτός από τα μποζόνια, δεδομένου ότι τα μποζόνια που περιγράφονται στη θεωρία χορδών θα είχαν απαραιτήτως και φερμιόνια σαν υπερεταίρους (βλέπε άρθρο «*Η θεωρία της υπερσυμμετρίας ή Susy*». Physics4u, άρθρο Σεπτέμβριος 2006, http://www.physics4u.gr/articles/2006/susy.html).

Ο ρόλος της SUSY τελικά ήταν ιδιαίτερα σημαντικός. Γρήγορα φάνηκε ότι η Υπερσυμμετρία δεν είναι μόνο βιτρίνα. Εκτός από το αισθητικό πλεονέκτημα ότι ενοποιεί όλα τα σωματίδια του σύμπαντος, εξουδετερώνει και τις αποκλίσεις της θεωρίας των χορδών. Παρόλα αυτά, για τη θεωρία των Υπερχορδών, η κατάσταση είναι χειρότερη από τις GUT. Παρά την μαθηματική κομψότητά της, η θεωρία είναι τόσο αποκομμένη από τη φυσική πραγματικότητα, που είναι εξαιρετικά δύσκολο να προσδιοριστεί τι μετρήσιμο αποτέλεσμα μπορεί να δώσει μια χορδή. Ακόμη, η θεωρία των Υπερχορδών δεν έχει έως τώρα επαληθευτεί εργαστηριακά και υπάρχουν αρκετές αμφισβητήσεις της. Ένα από τα σοβαρά προβλήματα που εμφανίστηκαν ήταν το γεγονός ότι υπάρχουν πέντε συνεπείς θεωρίες χορδών και δύσκολα δέχεται κανείς πέντε διαφορετικές θεωρίες για το σύμπαν.

Στην πραγματικότητα υπάρχουν δύο κύριες θεωρίες χορδών, η μποζονική θεωρία χορδών σε 26 διαστάσεις και η Υπερσυμμετρική Θεωρία Χορδών σε 10 διαστάσεις[9]. Σήμερα, ο όρος θεωρία χορδών αναφέρεται στην Υπερσυμμετρική θεωρία χορδών ή Θεωρία Υπερχορδών, η οποία χωρίζεται σε 5 διαφορετικούς τύπους (βλέπε Πίνακα 3.19)

---

9. Η μποζονική θεωρία χορδών, παραμερίστηκε σήμερα γιατί, καταρχάς, για να δουλέψει προϋποθέτει 26 διαστάσεις – 25 χωρικές και μια χρονική. Το σύμπαν μας όμως έχει (φαινομενικά τουλάχιστον) μόνο τέσσερις διαστάσεις, μαζί με τον χρόνο, πράγμα που από μόνο του αφήνει τη μποζονική θεωρία χορδών στο περιθώριο της θεωρητικής φυσικής και των αφηρημένων μαθηματικών. Εκτός όμως από το πρόβλημα των διαστάσεων, η μποζονική θεωρία χορδών προβλέπει μόνο μποζόνια (εξού και το όνομα) - δηλαδή σωματίδια με ακέραιο σπιν, που μεταφέρουν δυνάμεις - και καθόλου φερμιόνια – σωματίδια με περιττό σπιν, που αποτελούν την ύλη. Ακόμα και αν υποθέσουμε ότι οι 22 επιπλέον διαστάσεις είναι καμπυλωμένες και για αυτό κινούμαστε μόνο σε 3, πως η μποζονική θεωρία των χορδών έχει τη παραμικρή σχέση με το δικό μας σύμπαν τη στιγμή που στο δικό μας υπάρχουν και φερμιόνια. Ένα άλλο μεγάλο μείον της μποζονικής θεωρίας ήταν η πρόβλεψη του ταχυονίου, του οποίου η ύπαρξη δεν έχει ακόμη επιβεβαιωθεί (βλέπε εργασία του Λεύκου, Β. *«Θεωρία Χορδών σε χώρο Minkowski και σε καμπυλωμένο χώρο»*. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, σσ. 10, 49, http://ikee.lib.auth.gr/record/131935/files/String_theory.pdf

Πίνακας 3.19: Θεωρίες Χορδών

Τύπος	**Χωροχρονικές διαστάσεις**	**Λεπτομέρειες**
Μποζονική	26	Μόνο μποζόνια, όχι φερμιόνια, όχι ύλη, με ανοικτές και κλειστές χορδές. Βασικό μειονέκτημα: ένα σωματίδιο με φανταστική μάζα, που ονομάζεται ταχυόνιο.
I	10	Υπερσυμμετρία μεταξύ των δυνάμεων και της ύλης, με ανοικτές και κλειστές χορδές, όχι ταχυόνια, η ομάδα συμμετρίας είναι η SO(32).
IIA	10	Υπερσυμμετρία μεταξύ των δυνάμεων και της ύλης, με ανοικτές και κλειστές χορδές, όχι ταχυόνια, άμαζα φερμιόνια με διπλή ελικότητα (nonchiral).
IIB	10	Υπερσυμμετρία μεταξύ των δυνάμεων και της ύλης, με ανοικτές και κλειστές χορδές, όχι ταχυόνια, άμαζα φερμιόνια με μονή ελικότητα (chiral).
HO	10	Υπερσυμμετρία μεταξύ των δυνάμεων και της ύλης, με ανοικτές και κλειστές χορδές, όχι ταχυόνια, ετεροτική, που σημαίνει ότι οι χορδές που κινούνται δεξιόστροφα διαφέρουν με αυτές που κινούνται αριστερόστροφα, η ομάδα συμμετρίας είναι η SO(32).
HE	10	Υπερσυμμετρία μεταξύ των δυνάμεων και της ύλης, με ανοικτές και κλειστές χορδές, όχι ταχυόνια, ετεροτική, που σημαίνει ότι οι χορδές που κινούνται δεξιόστροφα διαφέρουν με αυτές που κινούνται αριστερόστροφα, η ομάδα συμμετρίας είναι η $E_8 \times E_8$.

Πριν τη δεκαετία του '90, οι πέντε διαφορετικοί τύποι θεωριών χορδών έμοιαζαν ασύνδετοι μεταξύ τους. Το 1994 ο Έντουαρντ Γουίτεν (Edward Witten) και ο Πολ Τάουνσεντ (Paul Townsend) στο Cambridge, μέσα από μαθηματική επεξεργασία κατέληξαν στο ότι οι πέντε θεωρίες χορδών ήταν ίδιες, διαφορετικές προσεγγίσεις δηλαδή της ίδιας μυστηριώδους θεωρίας με 11 διαστάσεις. Ο Έντουαρντ Γουίτεν ονόμασε τη θεωρία αυτή Θεωρία–Μ.

Στη μελέτη των θεωριών των χορδών περιλαμβάνονται όχι μόνο μονοδιάστατα αντικείμενα, αλλά και αντικείμενα περισσότερων διαστάσεων, που καλούνται βράνες. Η θεωρία των βρανών διατυπώθηκε το 1998, πολύ πρόσφατα δηλαδή σε σχέση με τα χρονικά στάνταρτ της θεωρητικής φυσικής (οι επιστήμονες επεξεργάζονται διάφορες παραλλαγές της θεωρίας των χορδών εδώ και τριάντα χρόνια). Τρία άτομα θεωρούνται πατέρες της θεωρίας, ο Nima Arkani-Hamed του Harvard και οι συνάδελφοί του Σάββας Δημόπουλος και Gia Dvali, οι οποίοι προσπαθούσαν να βρουν λύση στο πρόβλημα[10] που ταλαιπωρούσε σημαντικούς επιστήμονες για δεκαετίες, μέχρι που συνειδητοποίησαν ότι το μόνο που χρειαζόταν να κάνουν ήταν να υποθέσουν την ύπαρξη μιας ακόμη διάστασης. Αυτή η υπόθεση οδηγεί στο συμπέρασμα ότι ο κόσμος μας ίσως να είναι μια τρισδιάστατη βράνη που αιωρείται σε ένα τετραδιάστατο κενό.

Μια βράνη είναι σαν μια μεμβράνη. Φανταστείτε την κρούστα που σχηματίζεται πάνω στη σούπα όταν κρυώσει. Κάτι ανάλογο είναι και η βράνη. Μια βράνη είναι ένα αντικείμενο λιγότερων διαστάσεων (μια δισδιάστατη κρούστα) που βρίσκεται μέσα σε χώρο περισσότερων διαστάσεων (την 3-διάστατη σούπα). Η θεωρία λοιπόν των βρανών λέει ότι ο 3-διάστατος κόσμος μας είναι μια βράνη, που βρίσκεται μέσα στον 4-διάστατο χώρο που λέγεται όγκος. Όπως συμβαίνει και στο στερεοποιημένο λίπος της σούπας, δεν μπορούμε να διαφύγουμε από τη βράνη και να βρεθούμε μέσα στο χώρο των περισσότερων διαστάσεων, που αντιστοιχεί στη σούπα μας. Μόνο η βαρύτητα μπορεί να διαφύγει έξω από τη βράνη μας και να βρεθεί στην τέταρτη διάσταση.

Φανταστείτε ότι είστε ένα βαρυτόνιο. Τα βαρυτόνια, όπως και τα φωτόνια, δεν έχουν μάζα και ως άμαζα κινούνται με την ταχύτητα του φωτός. Σύμφωνα με τη θεωρία της σχετικότητας, ότι κινείται με την ταχύτητα του φωτός δεν αντιλαμβάνεται την πάροδο του χρόνου. Σ’ εσάς λοιπόν που κινείστε με την ταχύτητα του φωτός, το Σύμπαν σας φαίνεται θεμελιωδώς μεγαλύτερο. Εσείς μπορείτε, σε αντίθεση με τα άλλα σωματίδια, να κινηθείτε σε μια ακόμη διάσταση, την τέταρτη διάσταση του χώρου.

---

10. Το πρόβλημα που προσπαθούσαν να λύσουν όλοι αυτοί οι ιδιοφυείς επιστήμονες για τόσα χρόνια ήταν το εξής: Γιατί η βαρύτητα είναι μία ασθενής δύναμη; (βλέπε θεωρία τους στο άρθρο «*Υπάρχουν πράγματι κρυμμένες διαστάσεις στο σύμπαν; 2ο μοντέλο για τον χώρο*». Physics4u’s Weblog, 31.10.2009, http://physics4u.wordpress.com/2009/10/31/%CE%AC-%CE%AC-%CE%AD-%CE%AC/).

Καθώς λοιπόν τα βαρυτόνια διαχέονται σε αυτό το χώρο των περισσότερων διαστάσεων, ελαττώνεται ο αριθμός αυτών που απομένουν στον 3-διάστατο κόσμο μας, για να αναπτύξουν ελκτικές δυνάμεις μεταξύ των υλικών αντικειμένων. Όταν μειώνεται ο αριθμός των σωματιδίων φορέων, η αντίστοιχη δύναμη γίνεται ασθενέστερη. Αυτό εξηγεί γιατί η βαρύτητα είναι πολύ πιο ασθενής από τις άλλες δυνάμεις.

Τώρα, το μέγεθος και το σχήμα αυτής της πρόσθετης τέταρτης διάστασης είναι ακόμη αμφιλεγόμενα. Τρεις από τις εναλλακτικές εκδοχές είναι οι ακόλουθες:

- **Η επιπλέον διάσταση είναι μικρή και κυκλική, αν και όχι της ίδιας τάξης μεγέθους με τις πραγματικά μικροσκοπικές διαστάσεις που συνδέονται με τη θεωρία χορδών.**

Μπορεί να φτάνει σε μήκος το 1mm. Για τη σωματιδιακή φυσική το 1mm είναι ότι για την καθημερινή μας εμπειρία η απόσταση της Γης από τον πλησιέστερο κβάζαρ. Πρόκειται για εξαιρετικά μεγάλο μήκος. Γι αυτό το λόγο η θεωρία βρανών ονομάστηκε αρχικά, θεωρία των μεγάλων πρόσθετων διαστάσεων. Κάθε επιπλέον διάσταση είναι κουλουριασμένη σε ένα κύκλο. Έτσι αν είσαστε βαρυτόνιο θα μπορούσατε να κινηθείτε σ' αυτή την κυκλική διάσταση σε κάθε σημείο του χώρου, ενώ ταυτόχρονα θα κινείστε σε μια ευθεία γραμμή μέσα στις γνωστές μας τρεις διαστάσεις.

- **Η πρόσθετη διάσταση είναι άπειρου μεγέθους.**

Οι άνθρωποι είμαστε εξοικειωμένοι με τις άπειρες διαστάσεις. Στην πραγματικότητα, οι τυπικές διαστάσεις μέσα στις οποίες κινούμαστε στην καθημερινή μας εμπειρία φαίνονται άπειρου μεγέθους. Θα μπορούσαμε θεωρητικά να επιλέξουμε μια κατεύθυνση – ας πούμε προς τα επάνω – και να κινηθούμε πάνω σ' αυτήν για πάντα χωρίς ποτέ να επιστρέψουμε στην ίδια θέση, χωρίς ποτέ να καταλήξουμε σε κάποιο τέλος. Όταν η Lisa Randall και ο Raman Sundrum, πρότειναν για πρώτη φορά την πιθανότητα μιας άπειρης τέταρτης διάστασης, το 1999, ήταν η πρώτη φορά που θεωρήθηκε βάσιμο το ενδεχόμενο η επιπρόσθετη διάσταση να μη χρειάζεται να είναι μικροσκοπική για να παραμένει αόρατη. Αν μόνο τα βαρυτόνια μπορούν να κινηθούν σ' αυτήν την επιπλέον διάσταση, τότε θα μπορούσε να είναι απόλυτα ευθύγραμμη και άπειρου μεγέθους, χωρίς ποτέ να μπορούμε να το διαπιστώσουμε. Η πρόταση αυτή έχει το πλεονέκτημα ότι εισηγείται μια νέα διάσταση απόλυτα όμοια με τις συνηθισμένες που γνωρίζουμε καλά. Με τη μόνη διαφορά ότι μόνο τα βαρυτόνια την αισθάνονται.

- Η ύπαρξη ενός παράλληλου σύμπαντος.

Αυτή η τρίτη εναλλακτική εκδοχή αποτελεί συνδυασμό της θεωρίας των χορδών και της θεωρίας βρανών. Σύμφωνα με αυτή την εκδοχή, οι πρόσθετες διαστάσεις είναι δύο, ευθύγραμμες και πεπερασμένες, οι οποίες μας οδηγούν σε ένα παράλληλο Σύμπαν.

Η θεωρία των χορδών αξιώνει ότι ζούμε σε ένα κόσμο 10 διαστάσεων. Φανταστείτε λοιπόν ότι αντί να ζούμε σ’ ένα 4-διάστατο χώρο (3 χωρικές και 1 χρονική διάσταση) και οι υπόλοιπες 6 διαστάσεις να είναι κουλουριασμένες σε τόσο μικρά σφαιρίδια, που δεν υπάρχει περίπτωση να τις παρατηρήσουμε ποτέ άμεσα, υπάρχουν δύο 4-διάστατοι χώροι: ο δικός μας και ένας άλλος που βρίσκεται σε μικρή απόσταση από τον πρώτο. Μια 2-διάστατη επιφάνεια συνδέει αυτές τις δύο βράνες, άρα οι διαστάσεις είναι 4 + 4 + 2 = 10. Το συμπέρασμα, βάσει αυτής της υπόθεσης, είναι ότι ανέκαθεν υπήρχε μια άλλη βράνη, σε απόσταση 1 mm περίπου από την δική μας, στην οποία δεν θα μπορούσαμε ποτέ να ταξιδέψουμε επειδή δεν είμαστε βαρυτόνια. Αυτή η υπόθεση είναι πάντως συνεπής από μαθηματική άποψη.

Τέλος, όπως είδαμε και προηγουμένως, ο κόσμος μας φαίνεται να είναι 3-διάστατος κάτι που έρχεται σε αντίθεση με τις 10 διαστάσεις της θεωρίας των χορδών. Δύο πιθανές απαντήσεις σε αυτό το παράδοξο είναι: α) ότι οι υπόλοιπες 7 διαστάσεις είναι τόσο μικρές, ώστε δεν είναι δυνατό να παρατηρηθούν και β) ότι είμαστε δεσμευμένοι σε μια υπερ-μεμβράνη του πλήρους σύμπαντος τεσσάρων χωροχρονικών διαστάσεων. Η λύση αυτή είναι γνωστή ως brane-world theory.

Η προσπάθεια των Θεωρητικών Φυσικών για μια θεωρία των Πάντων που θα ενοποιούσε τις 4 Αλληλεπιδράσεις είναι που οδήγησε στην αναγκαιότητα επέκτασης σε αριθμό των διαστάσεων στη θεωρία των χορδών, από 3 σε 10.

Στη σχετική εικόνα 3.20 αναπαρίσταται και εξηγείται εν μέρει η ιδέα αυτή, για την τυλιγμένη χωρική διάσταση.

Εικόνα 3.20



Παραπομπές (References)

1. Αϊνσταϊν, Α. – *Η θεωρία της σχετικότητας*. Μετάφραση Σταύρος Μαρουλάκος, εκδόσεις Κορόντζη, σ. 20.

2. Hawking, S. (1997) *Το Χρονικό του Χρόνου.* Εκδόσεις Κάτοπτρο, Αναθεωρημένη Έκδοση, Αθήνα, σσ. 51 – 55.

3. Δεληβοριάς, Α. (2017) *Η Διαστολή του Σύμπαντος και το Παράδοξο του Olbers.* Ίδρυμα Έυγενιδου, https://www.eef.edu.gr/el/arthra/h-diastoli-tou-sympantos-kai-to-paradokso-tou-olbers/?sa=X&ved=2ahUKEwiTis77yJnnAhWy1aYKHTEuDo4QFjAAegQIAhAB

4. *Παρερμηνείες για τη Μεγάλη Έκρηξη - Μέρος 2ο - Απομάκρυνση με ταχύτητα μεγαλύτερη του φωτός.* Physics4u, Μάρτιος 2005, http://www.physics4u.gr/articles/2005/misconceptions2.html

5. Δεληβοριάς, Α. (2007) *Βαρυτικά κύματα: ένα νέο παράθυρο στο Σύμπαν*. Ίδρυμα Ευγενίδου, Πλανητάριο, Αστροπύλη, http://www.eugenfound.edu.gr/frontoffice/portal.asp?cpage=RESOURCE&cresrc=2522&cnode=28

7. Θεοδωράκης, Σ. (1999) *Το κενό που κοχλάζει*. Εκδόσεις Δίαυλος, Αθήνα, σσ. 52 - 53.

8. *Η θεωρία της υπερσυμμετρίας ή Susy*. Physics4u, άρθρο Σεπτέμβριος 2006, http://www.physics4u.gr/articles/2006/susy.html

9. Λεύκος, Β. - *Θεωρία Χορδών σε χώρο Minkowski και σε καμπυλωμένο χώρο. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, σσ. 10, 49,*

http://ikee.lib.auth.gr/record/131935/files/String_theory.pdf

10. *Υπάρχουν πράγματι κρυμμένες διαστάσεις στο σύμπαν; 2ο μοντέλο για τον χώρο*. Physics4u's Weblog, 31.10.2009, http://physics4u.wordpress.com/2009/10/31/%CE%AC-%CE%AC-%CE%AD-%CE%AC/

ΠΗΓΕΣ ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3:

Ανδρακάκος, *Κ. κ.ά. (2008) Φυσική της Γ΄ Λυκείου - Θετικής και Τεχνολογικής Κατεύθυνσης.* Ο.Ε.Δ.Β., Αθήνα, σσ. 263 – 264.

Γαβρίλης, Κ., κ.ά. (2000) *Στοιχεία Αστρονομίας & Διαστημικής*. Β΄ Ενιαίου Λυκείου, Έκδοση Β΄, Ο.Ε.Δ.Β., Αθήνα, σ. 137, 173 - 174.

Gleiser, M. (2010) *Το ατελές σύμπαν: Αντίο, θεωρία των πάντων.* Physics4u's Weblog, http://physics4u.wordpress.com/2010/05/13/%CE%AD-%CF%8D-%CE%AF-%CE%AF-%CE%AC/

Young, H. (1994) *Πανεπιστημιακή Φυσική: Τόμος Α΄ Μηχανική - Θερμοδυναμική*. Εκδόσεις Παπαζήση, όγδοη έκδοση, σ. 624.

Δεληβοριάς, Α. (2007) *Βαρυτικά κύματα: ένα νέο παράθυρο στο Σύμπαν*. Ίδρυμα Ευγενίδου, Πλανητάριο, Αστροπύλη, http://www.eugenfound.edu.gr/frontoffice/portal.asp?cpage=RESOURCE&cresrc=2522&cnode=28

Εισαγωγή στην κβαντομηχανική. Physics4u, Ιανουάριος 2002, http://www.physics4u.gr/articles/introqm.html

Ελληνικό Λεξικό. Εκδόσεις Τεγόπουλος – Φυτράκης, Αθήνα 1997, σ. 860

Ευθυμιάδης, Γ. Κ. (2009) *Βασική θεωρία ηλεκτρομαγνητισμού*. 1η έκδοση, Μέθεξις, Θεσσαλονίκη, σ. 222.

Ζδέτσης, Α. (2005) *Εισαγωγή στην σύγχρονη φυσική: Μέρος Πρώτο Παλαιά Κβαντική Θεωρία, 1.1 Τι είναι «Κλασική» και τι «Σύγχρονη Φυσική». Μια Σύντομη Ιστορική και Εννοιολογική Αναδρομή.* Πανεπιστήμιο Πατρών, σσ. 3 - 6, 8, http://www.google.com.cy/url?url=http://www.physics.upatras.gr/UploadedFiles/course_111_7809.pdf&rct=j&frm=1&q=&esrc=s&sa=U&ved=0ahUKEwi-98fL4OTYAhWSh7QKHUN3CxgQFggSMAA&usg=AOvVaw2Ekmr0BVCtcNsvTyxIpXTW

Καμαράτος, Μ. (2009) *Εισαγωγή στη Φυσική Στερεάς Κατάστασης*. Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Τμήμα Φυσικής, Ιωάννινα, σ. 537.

Καρακώστας, Θ., Κυριάκος, Δ. (1998) *Φυσική Εισαγωγή στη Μηχανική*. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, σσ. 103 - 104, 391, 395.

Κασσέτας, Α. – *GUT*, http://users.sch.gr/kassetas/zzGUT.htm

Κασσέτας, Α. – *ΣΥΜΜΕΤΡΙΕΣ*, http://users.sch.gr/kassetas/zzSymmetries.htm

Κασσέτας, Α. – Το σχέδιο της αφίσας World Year of Physics 2005 παριστάνει τον κώνο φωτός του Minkowski. Ας τον «φωτίσουμε», http://users.sch.gr/kassetas/appleMinkowsi0.htm

Κασσέτας, Α. – *Υπερχορδές,* http://users.sch.gr/kassetas/zzSuperstrings.htm

Λεξικό της Φυσικής. Εκδόσεις ΜΑΛΛΙΑΡΗΣ-ΠΑΙΔΕΙΑ Α.Ε./Oxford University Press, Μετάφραση: Κώστας Θεολόγου, Επιστημονική θεώρηση: Δημήτρης Τζεβελέκης, 1993, ISBN: 960 – 239 – 137 – 5, σσ. 236, 290.

Livio, M. (2008) *Το μέτρο της Συμμετρίας*. European journal «Science in School», Μετάφραση Αντώνης Γίτσας, http://www.scienceinschool.org/el/2006/issue2/symmetry

Brown, J., Davies, P. (2005) *Υπερχορδές - Η Θεωρία των Πάντων;* Εκδόσεις Κάτοπτρο, δεύτερη έκδοση, Αθήνα, σ. 95.

Οι κοσμολογικές θεωρίες των Tryon και Vilenkin για την ανάδυση του σύμπαντος από το Τίποτα. Physics4u, 10/06/2017, http://physics4u.gr/blog/2017/06/10/%CE%BF%CE%B9-%CE%BA%CE%BF%CF%83%CE%BC%CE%BF%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%B9%CE%BA%CE%AD%CF%82-%CE%B8%CE%B5%CF%89%CF%81%CE%AF%CE%B5%CF%82-%CF%84%CF%89%CE%BD-tryon-%CE%BA%CE%B1%CE%B9-vilenkin-%CE%B3%CE%B9%CE%B1/

Ποιές ανάγκες γέννησαν την Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας; Physics4u, Νοέμβριος 2001, http://www.physics4u.gr/faq/special.html#special1

Σαβάλλας, Α. – Σαβάλλας, Σ. (2005) *Φυσική Α΄ Λυκείου.* Β΄ Τεύχος, Εκδόσεις Σαβάλλας, Αθήνα, σσ. 79 – 80.

Serway, R. et al. (2007) *Σύγχρονη Φυσική*. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο, σσ. 20 - 22, 25, 27 – 29.

Σιμόπουλος, Δ. (2017) *Νόμπελ Φυσικής για τον εντοπισμό των βαρυτικών κυμάτων*. Ευγενίδειο Πλανητάριο, https://m.naftemporiki.gr/story/1281657

Τόγκας, Α. – *Ειδική Θεωρία Σχετικότητας 5) Σχετικιστική μάζα*. Τμήμα Μαθηματικών, Πανεπιστήμιο Πατρών, σσ. 14 - 15, www.math.upatras.gr/~tasos/reldyn.pdf

Τραχανάς, Σ. (2008) *Κβαντομηχανική ΙΙ: Θεμελιώδεις Αρχές και Μέθοδοι – Κβαντικοί Υπολογιστές.* Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο, σσ. 48, 50 – 52.

Υπάρχουν πράγματι κρυμμένες διαστάσεις στο σύμπαν; 2ο μοντέλο για τον χώρο. Physics4u's Weblog, 31.10.2009, http://physics4u.wordpress.com/2009/10/31/%CE%AC-%CE%AC-%CE%AD-%CE%AC/

Φον Νταίνικεν, Ε. (1977) *Επισκέπτες απ΄το Σύμπαν*. Εκδόσεις NOTOS, Αθήνα, σ. 28.

Χανλαρίδης, Σ. (2008) *Από τη σχετικότητα στη κβαντομηχανική*. Physics4u, Φευρουάριος, http://www.physics4u.gr/collabor/relativity_quantumechaics/relativity_quantumechaics.html

Χατζηδημητρίου, Ι. (2000) *Θεωρητική Μηχανική: Τόμος Β΄ Αναλυτική Δυναμική – Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας*. Εκδόσεις Γιαχούδη – Γιαπούλη, Θεσσαλονίκη, σσ. 155 – 158, 169, 172 – 177, 181 – 183, 186.

Hewitt, P. (2007) *Οι έννοιες της Φυσικής*. Πανεπιστημιακές εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο σ. 709.

Hillis, W. (2013) *Ταχύτητα του φωτός: το έσχατο όριο.* Physicsgg, https://physicsgg.me/2013/09/25/%CF%84%CE%B1%CF%87%CF%8D%CF%84%CE%B7%CF%84%CE%B1-%CF%84%CE%BF%CF%85-%CF%86%CF%89%CF%84%CF%8C%CF%82-%CF%84%CE%BF-%CE%AD%CF%83%CF%87%CE%B1%CF%84%CE%BF-%CF%8C%CF%81%CE%B9%CE%BF/

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4:
ΟΙ ΓΑΛΑΞΙΕΣ

«Ο γαλαξίας είναι το φως από μακρινά αστέρια».
Δημόκριτος, 470-370 π.Χ.

Στο κεφάλαιο αυτό θα αποτολμήσουμε ένα ταξίδι στο Σύμπαν, ξεκινώντας από τους μεγαλύτερους ουράνιους σχηματισμούς του, τους γαλαξίες, αφού εξετάσουμε αρχικά τα «χαρακτηριστικά» του δικού μας Γαλαξία (Milky Way).

4.1 Ο Γαλαξίας

Οι αρχαίοι λαοί, προσπαθώντας να εξηγήσουν τη δημιουργία του Γαλαξία έπλασαν διάφορους μύθους. Ο πιο χαρακτηριστικός, που δικαιολογεί κατά κάποιο τρόπο και την ονομασία του, είναι ο εξής: Ο Ερμής κατάφερε να εξαπατήσει την Ήρα, ώστε να θηλάσει από το γάλα της ο μικρός Ηρακλής και να γίνει αθάνατος. Η Ήρα μόλις κατάλαβε την απάτη, έσπρωξε μακριά το βρέφος, και τότε το γάλα της σκόρπισε στον ουρανό και σχημάτισε το Γαλαξία.

Οι απαντήσεις στα ερωτήματα για την προέλευση του Γαλαξία, τα χαρακτηριστικά και τη δημιουργία του, άρχισαν να δίνονται από την εποχή που ο Γαλιλαίος έστρεψε το τηλεσκόπιο του προς τον ουρανό. Ο ίδιος επιβεβαίωσε την άποψη του Δημόκριτου (460-370 π.Χ), ότι δηλαδή ο Γαλαξίας αποτελείται από πάρα πολλούς συγκεντρωμένους αστέρες.

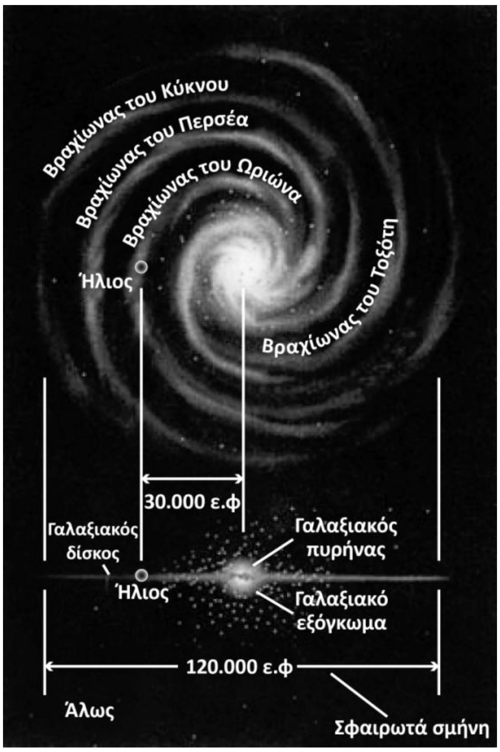
Ο πρώτος που ερεύνησε πραγματικά το Γαλαξία όμως, ήταν ο Ουίλιαμ Χέρσελ (W. Herschel, 1738-1822) που επισήμανε πως όλοι σχεδόν οι αστέρες που βλέπουμε με γυμνό μάτι, ανήκουν σε αυτόν. Επιπλέον, μετρώντας την αστρική πυκνότητα σε διάφορες διευθύνσεις, κατέληξε στο συμπέρασμα ότι ο Γαλαξίας μοιάζει με ένα τεράστιο δίσκο.

Οι έρευνες για το Γαλαξία συνεχίστηκαν και μετά τον Χέρσελ και εξακολουθούν να συνεχίζονται μέχρι σήμερα, έχοντας επεκταθεί και στους υπόλοιπους γαλαξίες.

(α) Η δομή του Γαλαξία

Ο γαλαξίας είναι μια τεράστια συγκέντρωση από αστέρες, σκόνη και ακτινοβολία. Τα στοιχεία που συνθέτουν τη δομή του (σχήμα 4.1) είναι τα ακόλουθα:

- Η **κεντρική περιοχή** του γαλαξία (γαλαξιακό εξόγκωμα) είναι μια ελαφρά πεπλατυσμένη σφαίρα, με ακτίνα περίπου 12.000 ε.φ. και πάχος περίπου 10.000 ε.φ., η οποία περιέχει σκόνη, ακτινοβολία και αστέρες.
- Ο **γαλαξιακός πυρήνας** βρίσκεται στο κέντρο του γαλαξιακού εξογκώματος. Είναι δύσκολο να παρατηρηθεί με οπτικές μεθόδους, διότι η μεσοαστρική ύλη απορροφά σε μεγάλο βαθμό την ορατή ακτινοβολία της περιοχής αυτής.
  Αναλύοντας όμως την υπέρυθρη ακτινοβολία και τη ραδιοακτινοβολία, που εκπέμπεται από το γαλαξιακό εξόγκωμα, οι επιστήμονες κατάφεραν να "δουν" πιο βαθιά και να παρατηρήσουν τον πυρήνα του.
  Η παρατήρηση δείχνει ότι στην περιοχή γύρω από το κέντρο του γαλαξία, η πυκνότητα των αστέρων είναι 1.000.000 φορές μεγαλύτερη από αυτή που επικρατεί στην περιοχή που βρίσκεται το ηλιακό μας σύστημα. Αυτό σημαίνει ότι στο γαλαξιακό πυρήνα, οι αποστάσεις των γειτονικών αστέρων είναι τόσο μικρές, ώστε είναι πιθανόν οι αστέρες να συγκρούονται μεταξύ τους. Επιπλέον, στον πυρήνα του έχουν παρατηρηθεί τεράστια σύννεφα από σκόνη και μοριακό υδρογόνο.
  Εφαρμόζοντας τους νόμους του Κέπλερ για τις τιμές ταχύτητας και περιόδου περιφοράς των αστέρων που παρατηρούμε, οδηγούμαστε στο συμπέρασμα ότι στο κέντρο του Γαλαξία πρέπει να υπάρχει μια τεράστια συγκέντρωση μάζας, η οποία ισοδυναμεί με περίπου 3.000.000 ηλιακές μάζες. Το πιο πιθανό είναι ότι στο κέντρο του Γαλαξία υπάρχει μια τεράστια μαύρη τρύπα, υπόθεση η οποία εξηγεί και τα τεράστια ποσά ακτίνων Χ και ραδιοκυμμάτων, τα οποία εκπέμπονται από αυτή την περιοχή.



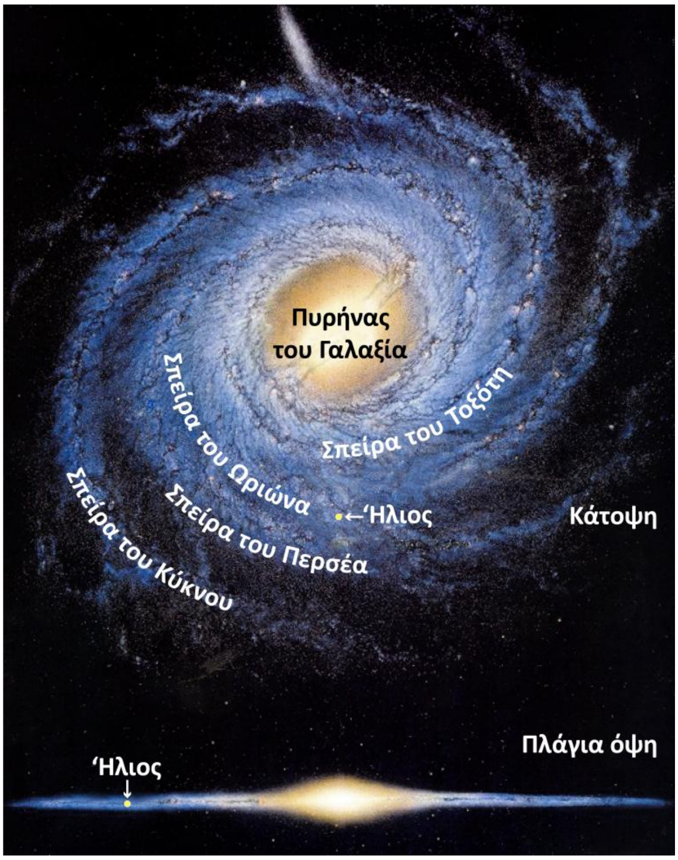
Σχήμα 4.1: Τομές του Γαλαξία μας στις οποίες διακρίνονται τα διάφορα τμήματα της δομής του.

- Ο **δίσκος** του Γαλαξία, στον οποίο ανήκει και το ηλιακό μας σύστημα, έχει διάμετρο περίπου 120.000 έτη φωτός. Η απόσταση του Ήλιου από το κέντρο του υπολογίζεται περίπου στα 30.000 έτη φωτός. Το πάχος του δεν ξεπερνά τα 1000 έτη φωτός.

  Η εξερεύνηση του γαλαξιακού δίσκου πέραν από τις γειτονικές μας περιοχές έγινε εφικτή με την ανάπτυξη της ραδιοαστρονομίας. Σύμφωνα με τις ραδιομελέτες, ο Γαλαξίας μας είναι σπειροειδούς μορφής, και ο Ήλιος βρίσκεται σε μια από τις σπείρες του (σχ. 4.2). Οι σπείρες, που είναι περιοχές με πυκνότερη ύλη και περισσότερους αστέρες, περιέχουν νεαρούς αστέρες, νεφελώματα - πρωτοαστέρες, αστέρες φασματικού τύπου O και B καθώς και ανοιχτά σμήνη αστέρων.

- Η **άλως,** το παλαιότερο τμήμα του Γαλαξία, είναι μια εκτεταμένη και λεπτή σφαιρική περιοχή με διάμετρο περίπου 300.000 ε.φ. Αποτελείται από αέρια νέφη, κυρίως ιονισμένου υδρογόνου, παλαιούς αστέρες και σφαιρωτά σμήνη αστέρων.

  Σήμερα οι επιστήμονες πιστεύουν ότι η άλως περιέχει και άλλα αντικείμενα, τα οποία φέρουν την ονομασία «σκοτεινή ύλη», των οποίων η ταυτότητα δεν έχει ακόμα εξακριβωθεί.



Σχήμα 4.2: Η σπειροειδής μορφή του Γαλαξία μας. Διακρίνονται οι βραχίονες των σπειρών του.

(β) Το περιεχόμενο του Γαλαξία

Όπως είδαμε, ο **γαλαξίας** περιέχει αέρια, σκόνη, αστέρες και ακτινοβολία.

Οι αστέρες του Γαλαξία μας χωρίζονται σε δύο «πληθυσμούς», τους Ι και ΙΙ. Στον πληθυσμό Ι ανήκουν αστέρες παρόμοιοι με τον Ήλιο και συναντώνται κυρίως στον δίσκο του Γαλαξία. Στον πληθυσμό ΙΙ ανήκουν αστέρες που αποτελούνται από ελαφρύτερα στοιχεία και συναντώνται στην άλω του Γαλαξία. Οι αστέρες του πληθυσμού ΙΙ είναι αρχαιότεροι από τους αστέρες του πληθυσμού Ι. Σχηματίστηκαν στην αρχή της ιστορίας του Γαλαξία μας.

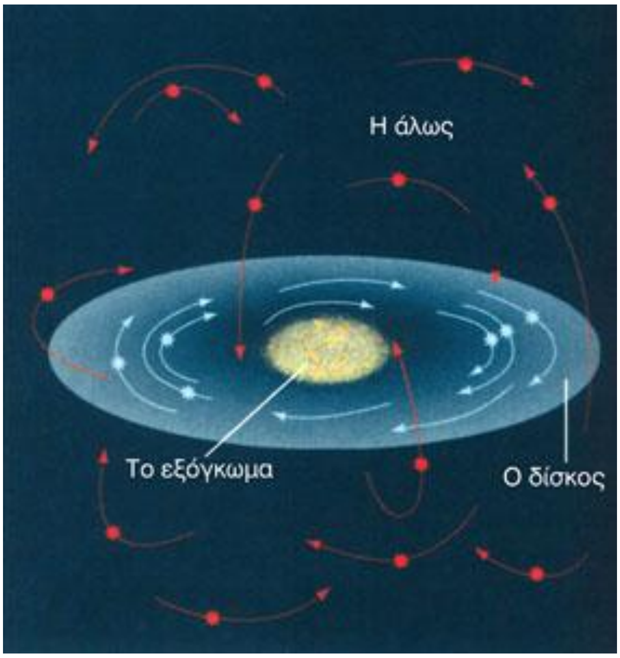
Ανάμεσα στους αστέρες του Γαλαξία μας υπάρχει διάχυτη ύλη που ονομάζεται μεσοαστρική ύλη. Αυτή δημιουργήθηκε κυρίως από εκρήξεις καινοφανών και υπερκαινοφανών αστέρων. Αποτελείται από αέρια σκόνη και νεφελώματα. Βρίσκεται συγκεντρωμένη στις σπείρες του Γαλαξία και η πυκνότητά της είναι πάρα πολύ μικρή. Όμως, ο χώρος που καλύπτεται από τον Γαλαξία είναι τόσο μεγάλος, ώστε η μάζα της μεσοαστρικής ύλης στο σύνολό της να συγκρίνεται με τη μάζα του συνόλου των αστέρων του!

Τα νεφελώματα είναι τεράστιες και εντυπωσιακές συγκεντρώσεις αερίου, κυρίως υδρογόνου και σκόνης. Είναι περιοχές στις οποίες δημιουργούνται συνεχώς νέοι αστέρες.

(γ) Η κίνηση των μελών του Γαλαξία

Τα μέλη του Γαλαξία ακολουθούν διαφορετικές τροχιές, ανάλογα με την περιοχή στην οποία βρίσκονται. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.3, οι αστέρες του γαλαξιακού δίσκου εμφανίζουν την πιο οργανωμένη κίνηση. Ολόκληρος ο γαλαξιακός δίσκος περιστρέφεται γύρω από το γαλαξιακό κέντρο. Στην περιοχή του Ήλιου οι ταχύτητες περιφοράς των αστέρων γύρω από το γαλαξιακό κέντρο φτάνουν τα 220 Km/s. Συνεπώς, θα μπορούσαμε να πούμε ότι μια πλήρης περιφορά τους διαρκεί 225 εκατομμύρια χρόνια. Σε κάποια άλλα σημεία του γαλαξιακού δίσκου, η περίοδος αυτή διαφέρει. Είναι μεγαλύτερη σε μεγαλύτερες αποστάσεις από αυτό, και μικρότερη σε μικρότερες. Επομένως, η περιστροφή του Γαλαξία είναι διαφορική.

Οι αστέρες που ανήκουν στις υπόλοιπες περιοχές του Γαλαξία κινούνται προς όλες τις κατευθύνσεις.



Σχήμα 4.3: Οι κινήσεις των αστέρων γύρω από το κέντρο του Γαλαξία μας

4.2 Εξωγαλαξιακά αντικείμενα

Στην αρχή του 20ου αιώνα ανακαλύφθηκε ένα πλήθος γαλαξιών παρόμοιων με το δικό μας, των οποίων τα φυσικά χαρακτηριστικά και τις ιδιότητες θα μελετήσουμε στη συνέχεια (βλέπε πίνακα 4.4).

(α) Η ταξινόμηση των γαλαξιών

Ο Χαμπλ (Hubble) ήταν ο πρώτος ο οποίος μελέτησε και ταξινόμησε τους γαλαξίες με βάση το σχήμα τους.

Πίνακας 4.4: Ταξινόμηση γαλαξιών - Τα φυσικά χαρακτηριστικά τους

	Ελλειπτικοί (E)	Σπειροειδείς (S) και (SB)	Ανώμαλοι (Ir)
Χαρακτηριστικά της δομής τους	• Δεν έχουν δίσκο • Έχουν σχήμα ελλειψοειδές που κυμαίνεται από σχεδόν σφαιρικό E0 έως πολύ πλατυσμένο E7. • Εχουν πολύ πυκνό πυρήνα	• Έχουν πολύ λεπτό δίσκο από αστέρες και αέρια, σπείρες και κεντρικό εξόγκωμα. Οι Sa και SBa έχουν το μεγαλύτερο εξόγκωμα και περίπου σφαιρική άλω. • Οι SB έχουν κεντρική ράβδο από αστέρες και αέρια.	• Δεν έχουν συγκεκριμένη δομή.
Αστέρες	• Περιέχουν μόνο παλαιούς αστέρες.	• Ο δίσκος περιέχει και παλαιούς και νέους αστέρες. • Η άλως περιέχει μόνο παλαιούς αστέρες.	• Περιέχουν και παλαιούς και νέους αστέρες.
Αέρια και σκόνη	• Περιέχουν πολύ λίγα ή και καθόλου.	• Ο δίσκος περιέχει μεγάλες ποσότητες. • Η άλως περιέχει μικρή ποσότητα.	• Περιέχουν άφθονη σκόνη και αέρια.
Δημιουργία αστέρων	• Καμιά σημαντική δημιουργία τα τελευταία 10 δισεκατομμύρια χρόνια.	• Αυξανόμενη δημιουργία αστέρων στις σπείρες.	• Ζωηρή και αυξανόμενη δημιουργία αστέρων
Οι κινήσεις των μελών του γαλαξία	• Τυχαίες τροχιές και στις τρεις διευθύνσεις.	• Τα αέρια και οι αστέρες στο δίσκο κινούνται σε τροχιές γύρω από το γαλαξιακό κέντρο. • Οι αστέρες στην άλω έχουν τυχαίες τροχιές και στις τρεις διευθύνσεις.	• Οι αστέρες και τα αέρια έχουν πολύ ανώμαλες τροχιές.
Κατανομή των γαλαξιών	40% - 50%	40% - 50%	~5 %
Διάμετρος	30×10^3 - 150×10^3 ε.φ.	90×10^3 ε.φ.	20×10^3 ε.φ.
Μάζα (μάζα Ηλίου =1)	10^5 έως 10^{13}	10^{11}	10^5
Λαμπρότητα (Ηλίου =1)	10^8 - 10^{11}	10^{10}	10^9

Σύμφωνα με την ταξινόμηση αυτή, οι γαλαξίες χωρίζονται στους ελλειπτικούς (E), στους σπειροειδείς (S και Sb) και στους ανώμαλους (I).

Οι **ελλειπτικοί** γαλαξίες πήραν το όνομά τους από το ελλειπτικό σχήμα που έχει το είδωλό τους στο τηλεσκόπιο και στις φωτογραφικές πλάκες (βλέπε εικ. 4.5). Ανάλογα με τη φαινόμενη πλάτυνσή τους E0, E1, E2… E7, χωρίζονται σε οκτώ επιμέρους κατηγορίες. Ο E0 που έχει πλάτυνση 0 είναι ένας σφαιρικός γαλαξίας.



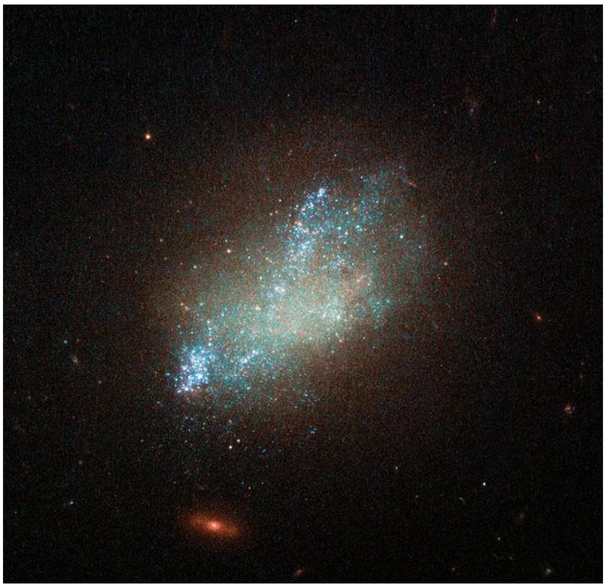
Εικόνα 4.5: Ο ελλειπτικός γαλαξίας Σομπρέρο

Οι **σπειροειδείς** γαλαξίες χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Στη μία κατηγορία συγκαταλέγονται οι (S) γαλαξίες, των οποίων η κεντρική περιοχή είναι σπειροειδούς μορφής (βλέπε εικ. 4.6). Στην δεύτερη κατηγορία συγκαταλέγονται οι (Sb) γαλαξίες των οποίων η κεντρική περιοχή έχει τη μορφή ράβδου, από τα άκρα της οποίας αρχίζουν οι σπείρες. Ο Γαλαξίας μας ανήκει στην πρώτη κατηγορία.



Εικόνα 4.6: Ο σπειροειδής γαλαξίας Μ100

Οι **ανώμαλοι** γαλαξίες οφείλουν το όνομά τους στο ακαθόριστο τους σχήμα (βλέπε εικ. 4.7). Χωρίζονται σε δύο τύπους. Στον IrI και στον IrII.



Εικόνα 4.7: Ανώμαλος - ακανόνιστος γαλαξίας

4.3 Ομάδες και σμήνη Γαλαξιών

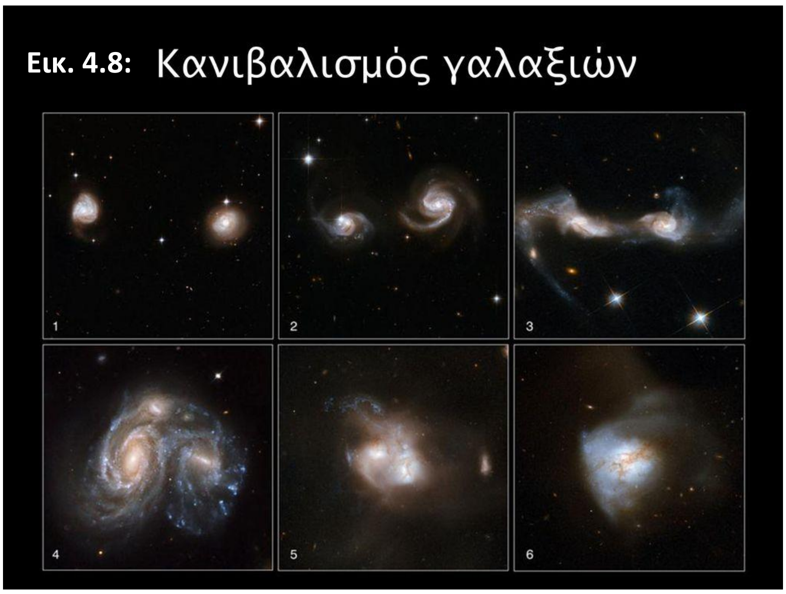
Χάρη στις παρατηρήσεις και στις μελέτες που έχουν γίνει κατά καιρούς έχει διαπιστωθεί ότι πολλοί γαλαξίες σχηματίζουν ομάδες. Τα μέλη των ομάδων έλκονται μεταξύ τους με βαρυτικές δυνάμεις. Τα κοινά χαρακτηριστικά που παρουσιάζουν μεταξύ τους είναι αρκετά, αφού πολύ πιθανόν να έχουν δημιουργηθεί την ίδια εποχή. Οι ομάδες μπορεί να είναι ολιγομελείς ή πολυμελείς, και αποτελούν τα επονομαζόμενα σμήνη γαλαξιών. Από τη μελέτη των σμηνών έχει παρατηρηθεί ότι μερικά από αυτά περιστρέφονται γύρω από άξονα, με ταχύτητα της τάξης των 1.500 Km/sec. Η μάζα τους επίσης είναι τεράστια.

Οι αστρονόμοι πιστεύουν ότι οι διπλοί γαλαξίες ή οι μικρές ομάδες που αποτελούνται από ένα γαλαξία και τους συνοδούς του, είναι ευσταθή συστήματα. Αντίθετα, πολυπληθέστερα συστήματα είναι συνήθως ασταθή, και κάποτε θα διαλυθούν.

Κατά ανάλογο τρόπο με την ύπαρξη σμηνών γαλαξιών, θεωρούμε ότι και αυτά σχηματίζουν μια ομάδα σμηνών, δηλαδή ένα σμήνος σμηνών ή ένα υπερσμήνος.

(α) Ο κανιβαλισμός των γαλαξιών

Ένα από τα πλέον ιδιαίτερα φαινόμενα, που παρατηρούνται στις ομάδες των γαλαξιών, είναι οι μεταξύ τους συγκρούσεις και συγχωνεύσεις, φαινόμενο που είναι γνωστό ως «κανιβαλισμός των γαλαξιών» (βλέπε εικ. 4.8). Οι ερευνητές εκτιμούν πως η κάθε σύγκρουση έχει ως αποτέλεσμα το σχηματισμό ενός νέου γαλαξία με διαφορετικές ιδιότητες ή την απορρόφηση του ενός γαλαξία από τον άλλο. Βέβαια, η σύγκρουση δύο γαλαξιών διαρκεί αρκετά εκατομμύρια χρόνια, και ως εκ τούτου είναι αδύνατο να παρατηρηθεί το αποτέλεσμά της με τα δικά μας γήινα μέτρα. Με άλλα λόγια, για τα ανθρώπινα μέτρα το φαινόμενο αυτό κάθε άλλο παρά βίαιο είναι.



Εικ. 4.8: Κανιβαλισμός γαλαξιών

4.4 Ειδικού τύπου γαλαξίες

Μέχρι σήμερα έχουν αναγνωριστεί και καταγραφεί ελλειπτικοί, σπειροειδείς και ανώμαλοι γαλαξίες, που βρίσκονται σε αποστάσεις εκατοντάδων Mpc από τη Γη. Το μεγαλύτερο ποσοστό της ακτινοβολίας που εκπέμπει ένας τυπικός γαλαξίας αντιστοιχεί στο ορατό τμήμα του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και προέρχεται από τους αστέρες του. Η ανακάλυψη των ραδιοτηλεσκοπίων, των τηλεσκοπίων ακτίνων Χ και των τηλεσκοπίων υπερύθρου έδωσε στους αστρονόμους την ευκαιρία να ανακαλύψουν πηγές ακτινοβολίας οι οποίες αντιστοιχούν και στο μη ορατό μέρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Κάποιες από αυτές τις πηγές βρέθηκαν σε τόσο μεγάλες αποστάσεις, έτσι ώστε να αφήνουν έκπληκτο κάθε παρατηρητή τους. Τα ποσά ενέργειας που εκπέμπουν είναι τεράστια, και σε μερικές περιπτώσεις είναι εκατοντάδες ή και χιλιάδες φορές μεγαλύτερα από τη συνολική ενέργεια που εκπέμπει ο δικός μας Γαλαξίας.

Οι τεράστιες αυτές πηγές ακτινοβολίας ονομάζονται «ενεργοί γαλαξίες» και είναι τριών ειδών: Οι ραδιοξαλαξίες, οι γαλαξίες Seyfert και τα κβάζαρς (εξαιρετικά λαμπροί και μακρινοί ενεργοί γαλαξιακοί πυρήνες, που εμφανίζονται στο ορατό φως ως σημειακή πηγή - σαν αστέρες – παρά ως εκτεταμένα σώματα – όπως οι γαλαξίες).

Με τη μελέτη της δομής και της συμπεριφοράς αυτών των τόσο απομακρυσμένων και δραστήριων γαλαξιών, είναι εφικτό να διερευνήσουμε και να δούμε την κατάσταση του Σύμπαντος στο πολύ μακρινό παρελθόν του.

Οι ενεργοί γαλαξίες εκπέμπουν τεράστιες ποσότητες ακτινοβολίας, η οποία δεν προέρχεται αποκλειστικά από τους αστέρες τους. Το μεγαλύτερο μέρος προέρχεται από την έντονη δραστηριότητα που παρατηρείται στους πυρήνες τους. Η ενέργεια που εκπέμπεται δεν είναι σταθερή, αλλά μεταβάλλεται, και μάλιστα με μεγάλες διακυμάνσεις. Η ενέργεια αυτή προέρχεται από ένα πυρήνα αρκετά μικρό, που δεν ξεπερνά σε έκταση το 1 pc.

Ένα ιδιαίτερα σημαντικό ζήτημα που απασχολεί τους αστρονόμους είναι οι τεράστιες ποσότητες ενέργειας που παράγονται και εκπέμπονται από τους ενεργούς γαλαξίες, με εκρηκτικό τρόπο: Για παράδειγμα, πως παράγονται οι τεράστιοι πίδακες αέριας μάζας που εκτινάσσονται με μεγάλη ταχύτητα από τον πυρήνα κάποιων ενεργών γαλαξιών, όπως ο γαλαξίας M87;

Πρόσφατες παρατηρήσεις έδειξαν ότι οι εν λόγω πίδακες εκπέμπουν ορατό φως, ακτίνες Χ και ραδιοκύματα. Μάλιστα, λεπτομερείς ραδιοπαρατηρήσεις στον πίδακα του M87 έδειξαν ότι συγκεντρώσεις αέριων μαζών που προέρχονται από τον πυρήνα τροφοδοτούν συνεχώς τον πίδακα. Αυτού του είδους οι παρατηρήσεις ενισχύουν την άποψη ότι στο εσωτερικό αυτών των γαλαξιών θα πρέπει να συμβαίνει κάποιο ιδιαίτερο φαινόμενο.

Η συνολική ενέργεια η οποία εκπέμπεται από ένα τυπικό γαλαξία, όπως το δικό μας, είναι περίπου 10^{37} W. Αυτή η ακτινοβολία προέρχεται από 10^{12} περίπου αστέρες, αέρια και μεσογαλαξιακή ύλη. Όμως, η πολύ περισσότερη ενέργεια που εκπέμπουν οι ενεργοί γαλαξίες, δεν είναι δυνατόν να προέρχεται από τους αστέρες που περιέχουν.

Η έντονη εκπομπή ακτίνων Χ ενισχύει την άποψη ότι στο εσωτερικό τους υπάρχει ισχυρό βαρυτικό πεδίο, το οποίο προκύπτει από τη μεγάλη συγκέντρωση μάζας, παρόμοια με αυτή των αστέρων νετρονίων και των μελανών οπών.

Το κύριο μοντέλο, που σήμερα είναι αποδεκτό για την παραγωγή της ενέργειας των ενεργών γαλαξιών, προβλέπει την ύπαρξη μιας τέτοιας τεράστιας μαύρης τρύπας στο κέντρο τους, με μάζα που ισούται με μερικά εκατομμύρια εώς και ένα δισεκατομμύριο ηλιακές μάζες.

Αυτή η μαύρη τρύπα αποτελεί πηγή ισχυρότατης βαρυτικής έλξης. Τα αέρια και οι αστέρες που την περιβάλλουν, πέφτουν σε αυτή και ταυτόχρονα εκλύουν πολύ μεγάλες ποσότητες ενέργειας υπό μορφή θερμότητας και ακτινοβολίας. Η ενέργεια απορροφάται από τα σωματίδια που περιβάλλουν τη μαύρη τρύπα, με αποτέλεσμα αυτά να αποκτούν ιδιαίτερα υψηλές ταχύτητες και επομένως να ακολουθούν βίαια φαινόμενα.

4.5 Σχηματισμός και εξέλιξη των γαλαξιών

Οι επιστήμονες πιστεύουν ότι οι Γαλαξίες σχηματίστηκαν όλοι μαζί μια συγκεκριμένη εποχή στο παρελθόν, πιθανότατα πριν από 10 με 20 δισεκατομμύρια χρόνια*. Πιστεύουν ακόμα ότι εξελίσσονται σταδιακά, για τους εξής λόγους:

i. Οι αστέρες που τους αποτελούν γεννιούνται, εξελίσσονται και πεθαίνουν. Η διεργασία αυτή τροφοδοτεί του Γαλαξίες με βαρύτερα χημικά στοιχεία και κατά συνέπεια η σύστασή τους αλλά και η λαμπρότητά τους μεταβάλλεται.

ii. Εξαιτίας της βαρυτικής αλληλεπίδρασης μεταξύ των μελών τους.

iii. Εξαιτίας της βαρυτικής αλληλεπίδρασής τους με άλλους γειτονικούς γαλαξίες.

*Σύμφωνα με την επικρατέστερη θεωρία, η ύλη του Σύμπαντος ήταν αρχικά ομοιόμορφα διασπαρμένη. Οι Γαλαξίες σχηματίστηκαν, όταν μικρές, τυχαίες διαταραχές στην πυκνότητα της ύλης του Σύμπαντος δημιούργησαν μικρές συγκεντρώσεις ύλης σαν φουσκάλες αερίων.

Η ισχυρότερη βαρύτητα κάθε τέτοιας συγκέντρωσης ήταν η αιτία που προσέλκυσε και άλλο υλικό από τον περιβάλλοντα χώρο ώστε αυτή να συνεχίσει να μεγαλώνει. Η διαδικασία της συσσώρευσης όλο και μεγαλύτερης μάζας σε ορισμένες περιοχές με ταυτόχρονη αύξηση της βαρυτικής έλξης, είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία σχηματισμών μεγάλου όγκου, τους Γαλαξίες.

συστολή τους λόγω βαρύτητας προσδιόρισε στη συνέχεια τη μορφή και την εξέλιξή τους.



Γαλαξίες

Η περιστροφή και ακτινοβολία αυτών των σχηματισμών μαζί με τη συστολή τους λόγω βαρύτητας προσδιόρισε στη συνέχεια τη μορφή και την εξέλιξή τους.

ΠΗΓΕΣ ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4:

Κοντόπουλος, Γ., Κωτσάκης, Δ. (1982) *Κοσμολογία: Η δομή και εξέλιξη του Σύμπαντος.* Αθήνα, σσ. 17 – 20, 42 – 54, 59 – 69, 76 – 78, 83 – 90.

Lightman, A. (1994) *Η ώρα των άστρων - Η αστρονομία στο κατώφλι του 2000.* Εκδόσεις Κάτοπτρο. 1η έκδοση, Αθήνα, σσ. 85 - 86, 90, 92, 94 – 97, 100, 102 – 109, 113 - 118.

«Τα άστρα είναι θεία και αιώνια όντα, για πάντα αναλλοίωτα»

Πλάτωνας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΟΙ ΑΣΤΕΡΕΣ

Στην αστρονομία γενικά, αστέρας (αρχ. αστήρ) ή απλανής (σε αντιδιαστολή με τον πλανήτη), ονομάζεται το κάθε ουράνιο σώμα που διατηρεί όλες εκείνες τις ιδιότητες του δικού μας Ηλίου, πέριξ του οποίου περιστρέφεται η Γη. Συνεπώς, όλοι οι αστέρες είναι Ήλιοι εκ των οποίων και παρατηρείται κατάστικτος ο ουράνιος θόλος.

Η θεωρία για τη δημιουργία και την εξέλιξη των αστέρων (ουράνια σώματα που παρατηρούμε στο Σύμπαν), η οποία επιβεβαιώνεται και από τα παρατηρησιακά δεδομένα, κατέχει σημαντικότατη θέση ανάμεσα στα θαυμαστά επιτεύγματα της Αστρονομίας του 20ου αιώνα.

5.1 Η γένεση των αστέρων

Οι αστέρες δημιουργούνται από τη βαρυτική κατάρρευση μεσοαστρικών νεφών που αποτελούνται κυρίως από υδρογόνο. Ένας τρόπος είναι η γειτονική έκρηξη ενός σουπερνόβα η οποία μπορεί να πυροδοτήσει τη βαρυτική κατάρρευση, αφού δημιουργεί ένα ωστικό κύμα, το οποίο καθώς διαδίδεται συμπιέζει το νέφος και αυξάνει την πυκνότητά του.

Μεσοαστρική ύλη: η ύλη που υπάρχει στο διάστημα μεταξύ των αστέρων. Αποτελείται κυρίως από υδρογόνο και σε μικρότερες αναλογίες από άλλα στοιχεία σε κατάσταση αερίων ή σκόνης.

Βαρυτική κατάρρευση: η συστολή ενός σώματος πολύ μεγάλης μάζας που οφείλεται στις έλξεις μεταξύ των σωματιδίων που το απαρτίζουν. Στο φαινόμενο αυτό οφείλεται κατά κύριο λόγο ο σχηματισμός των γαλαξιών των αστέρων και των πλανητικών συστημάτων.

Με την αύξηση της πυκνότητας, το νέφος καταρρέει λόγω της βαρύτητας προς το κέντρο της μάζας του[1] και ταυτόχρονα αρχίζει να περιστρέφεται, καθώς η δυναμική ενέργεια των σωματιδίων της ύλης μετατρέπεται σε κινητική. Αυτό έχει ως συνέπεια την αύξηση των συγκρούσεων μεταξύ των σωματιδίων και συνακόλουθα της θερμοκρασίας και της κινητικής τους ενέργειας.

1. Στο φαινόμενο αυτό οφείλεται το σφαιρικό σχήμα των ουράνιων σωμάτων πάνω από ένα μέγεθος που υπερισχύει η βαρύτητα (βλέπε νόμο της παγκόσμιας έλξης, Παράρτημα 1 σελ. 304)

Σε πολλές περιπτώσεις έχουμε τη διάσπαση του νέφους σε μικρότερες και πυκνότερες περιοχές, κάθε μια από τις οποίες θα καταρρεύσει ανεξάρτητα από τις άλλες, σχηματίζοντας μια περιστρεφόμενη υπέρθερμη σφαίρα αερίου, το έμβρυο του άστρου που θα γεννηθεί, το οποίο ονομάζεται πρωτοαστέρας.

Η μάζα του κάθε πρωτοαστέρα που δημιουργείται συμπιέζεται σε όλο και μικρότερο χώρο, με αποτέλεσμα την αύξηση της πίεσης και της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του. Αν η θερμοκρασία φτάσει τους 10^6 K, τότε αρχίζουν να πραγματοποιούνται στον πυρήνα του πυρηνικές αντιδράσεις σύντηξης υδρογόνου σε ήλιο. Η ενέργεια (ακτινοβολία) που ελευθερώνεται προκαλεί δραματική αύξηση της εσωτερικής πίεσης του πρωτοαστέρα που αντισταθμίζει τη βαρυτική του κατάρρευση. Η συστολή του πρωτοαστέρα σταματάει και αφού δημιουργηθεί κατάσταση δυναμικής ισορροπίας[2], γεννιέται ένας αστέρας.

<u>Σημείωση</u>: Ο Ήλιος είναι ο αστέρας του "δικού μας" Αστρικού Συστήματος που αποκαλείται εξαιτίας του Ηλιακό Σύστημα.

Τι είναι όμως ο Ήλιος;

Ουσιαστικά είναι μια θερμή σφαίρα αερίων, στο εσωτερικό της οποίας γίνονται θερμοπυρηνικές αντιδράσεις. Αποτέλεσμα των αντιδράσεων είναι η παραγωγή ενέργειας, η οποία ύστερα από εκατοντάδες χιλιάδες χρόνια φτάνει στην επιφάνεια του Ήλιου και στη συνέχεια μόλις σε 8,3 λεπτά φτάνει στη Γη.

Ένα αστρικό σύστημα μπορεί να αποτελείται και από δύο ή περισσότερους αστέρες που συνδέονται μεταξύ τους με δυνάμεις βαρύτητας. Τέτοια συστήματα είναι οι διπλοί αστέρες και τα αστρικά σμήνη.

---

2. Δυναμική ισορροπία: Κατάσταση ισορροπίας ενός συστήματος που επιτυγχάνεται από την αμοιβαία εξουδετέρωση διαδικασιών που εξελίσσονται προς αντίθετες κατευθύνσεις. Για παράδειγμα, η ισορροπία ενός αστέρα συμβαίνει, όταν η κατάρρευση της ύλης του λόγω βαρύτητας αντισταθμιστεί από την ενέργεια που παράγουν οι θερμοπυρηνικές αντιδράσεις στο εσωτερικό του (βλέπε σύγγραμμα του Γαβρίλη, Κ. κ.ά. (2000) «*Στοιχεία Αστρονομίας & Διαστημικής*». Β΄ Ενιαίου Λυκείου, έκδοση Β΄, Ο.Ε.Δ.Β., Αθήνα, σ. 97).

(α) Πυρηνική Σύντηξη

Η πυρηνική σύντηξη είναι η περίπτωση κατά την οποία δύο σωμάτια, που συγκρούονται μεταξύ τους, συσσωματώνονται και δημιουργούν νέο σωμάτιο, μάζας μικρότερης από το άθροισμα των μαζών τους. Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται στους ελαφρότερους απ' τους πυρήνες. Έτσι, αν ένα πρωτόνιο συγκρουστεί με άλλο πρωτόνιο, είναι δυνατό τα δύο αυτά πρωτόνια να συσσωματωθούν και να δημιουργήσουν νέο σωμάτιο διπλάσιας μάζας. Αν αυτό επαναληφθεί δύο ακόμη φορές (σύντηξη τεσσάρων πρωτονίων) θα προκύψει ένας πυρήνας ηλίου ($^{4}_{2}He$), ενώ ταυτόχρονα θα δημιουργηθούν δύο ποζιτρόνια, σύμφωνα με την εξίσωση:

$$4\ ^{1}_{1}H = ^{4}_{2}He + 2\ ^{0}_{+1}e \; .$$

Αν συγκρίνουμε τη μάζα των 4 πρωτονίων, με τη συνολική μάζα των σωματίων του δεξιού μέλους της εξίσωσης, θα βρούμε ότι το άθροισμα της μάζας του πυρήνα του Ηλίου και της μάζας των δύο ποζιτρονίων είναι μικρότερο από τη μάζα των τεσσάρων πρωτονίων. Η διαφορά αυτή των μαζών μετατράπηκε σύμφωνα με την εξίσωση $E = m \cdot c^2$, σε ενέργεια[3]. Κατά τη σύντηξη, λοιπόν, των πυρήνων του υδρογόνου ελευθερώνεται ενέργεια. Είναι φανερό, ότι, για να γίνει σύντηξη, παρά τις μεταξύ των πρωτονίων απωστικές δυνάμεις Coulomb, πρέπει οι ταχύτητες των πρωτονίων να είναι πολύ μεγάλες. Ψηλές ταχύτητες πετυχαίνονται αν η θερμοκρασία του υδρογόνου γίνει πολύ ψηλή. Γι' αυτό ακριβώς το λόγο, οι συντήξεις λέγονται και **θερμοπυρηνικές αντιδράσεις.**

Όπως αναφέραμε, η ενέργεια που εκλύεται κατά τη σύντηξη του υδρογόνου προς ήλιο, παράγεται σε βάρος της μάζας. Μπορούμε να πούμε ότι στους αστέρες έχουμε μετατροπή της μάζας σε ενέργεια.

___

3. Συγκρίνοντας τη μάζα του τελικού ^{4}He το 0.7% της μάζας του αρχικού πρωτονίου έχει χαθεί. Η μάζα αυτή μετατράπηκε σε ενέργεια, σε ακτίνες γ και νετρίνα.

5.2 Εξέλιξη των αστέρων

Εξέλιξη ενός αστέρα ονομάζουμε τις μεταβολές των φυσικών του χαρακτηριστικών[4] σε συνάρτηση με το χρόνο. Αιτία των μεταβολών είναι οι αλλαγές του είδους των πυρηνικών αντιδράσεων που συμβαίνουν στο εσωτερικό του.

Η αρχική μάζα ενός αστέρα είναι καθοριστική για την εξέλιξη του (βλέπε σχ. 5.1, σελ. 194) αποτελώντας θεμελιώδη φυσική παράμετρο που εκφράζεται με μέτρο σύγκρισης την ηλιακή μάζα. Έτσι υπάρχουν αστέρες 5 ηλιακών μαζών ή αστέρες 0,3 ηλιακών μαζών κ.ο.κ.

Μεγαλύτεροι αστέρες, με μάζα που να ξεπερνά 100 φορές την ηλιακή δεν παρατηρούνται, γιατί δεν καταφέρνουν να σχηματιστούν, η πίεση της συνολικής ακτινοβολίας τους προς τα έξω ξεπερνάει την προς τα μέσα πίεση λόγω βαρύτητας – υπερβαίνουν δηλαδή το όριο Eddington[5], αλλά ούτε και αστέρες με μάζα μικρότερη του 1/10 της ηλιακής δημιουργούνται (η πίεση και η θερμοκρασία δεν φτάνουν τις τιμές που απαιτούνται για να πραγματοποιηθούν πυρηνικές αντιδράσεις σύντηξης υδρογόνου σε ήλιο).

Οι αστέρες με μεγάλη μάζα έχουν κύκλο ζωής που διαρκεί λίγες χιλιάδες χρόνια, με πολύ βίαιο τέλος, ενώ οι αστέρες μικρής μάζας παραμένουν σχεδόν «αμετάβλητοι» για εκατοντάδες εκατομμύρια ή δισεκατομμύρια χρόνια.

Ο διαφορετικός κύκλος ζωής των αστέρων οφείλεται στην επιτάχυνση της καύσης των πυρηνικών καυσίμων τους, που είναι ανάλογη της πίεσης προς τα μέσα λόγω βαρύτητας συνεπεία της μάζας που έχουν.

---

4. Βλέπε σελ. 196 - 198

5. Το όριο Eddington, που ονομάζεται έτσι προς τιμή του Βρετανού Αστροφυσικού Sir Arthur Eddington και αναφέρεται επίσης και ως φωτεινότητα Eddington, είναι η μέγιστη φωτεινότητα της πηγής σε υδροστατική ισορροπία. Αν η φωτεινότητα υπερβαίνει το όριο Eddington, τότε η πίεση της ακτινοβολίας οδηγεί σε διατάραξη της δυναμικής ισορροπίας και έκρηξη του αστέρα.

Το όριο προκύπτει με τη ρύθμιση: η πίεση της ακτινοβολίας προς τα έξω να είναι ίση με την προς τα μέσα βαρυτική δύναμη. Και οι δύο δυνάμεις μειώνονται με νόμους αντίστροφου τετραγώνου, οπότε μόλις επιτευχθεί η ισότητα, η υδροδυναμική ροή είναι η ίδια σε όλο το αστέρι.

Από την εξίσωση του Euler στην υδροστατική ισορροπία, η μέση επιτάχυνση είναι μηδέν,

$$\frac{du}{dt} = -\frac{\nabla p}{\rho} - \nabla\Phi = 0$$

όπου u είναι η ταχύτητα, p είναι η πίεση, ρ είναι η πυκνότητα, και Φ είναι το βαρυτικό δυναμικό. Εάν η πίεση κυριαρχείται από πίεση ακτινοβολίας που σχετίζεται με ροή ακτινοβολίας F_{rad},

$$-\frac{\nabla p}{\rho} = \frac{\kappa}{c} F_{rad} \,.$$

Εδώ κ είναι η αδιαφάνεια του αστρικού υλικού που ορίζεται ως το κλάσμα της ροής ενέργειας ακτινοβολίας που απορροφάται από το μέσο ανά μονάδα πυκνότητας και μονάδας μήκους. Για ιονισμένο υδρογόνο $\kappa = \sigma_T/m_p$, όπου σ_T είναι η διατομή σκέδασης Thomson για το ηλεκτρόνιο και m_p είναι η μάζα ενός πρωτονίου. Σημειώστε ότι $F_{rad} = d^2E/dAdt$ ορίζεται ως η ροή ενέργειας σε μια επιφάνεια, η οποία μπορεί να εκφραστεί με τη ροή ορμής χρησιμοποιώντας $E = pc$ για ακτινοβολία. Επομένως, ο ρυθμός μεταφοράς ορμής από την ακτινοβολία στο αέριο μέσο ανά μονάδα πυκνότητας είναι $\kappa F_{rad}/c$, που εξηγεί τη δεξιά πλευρά της παραπάνω εξίσωσης.

Η φωτεινότητα μιας πηγής που οριοθετείται από μια επιφάνεια S μπορεί να εκφραστεί με αυτές τις σχέσεις ως

$$L = \int_S F_{rad} \cdot dS = \int_S \frac{c}{\kappa} \nabla\Phi \cdot dS \,.$$

Τώρα υποθέτοντας ότι η αδιαφάνεια είναι μια σταθερά, μπορεί να τεθεί εκτός του ολοκληρώματος. Χρησιμοποιώντας το θεώρημα του Gauss και την εξίσωση του Poisson δίνει

$$L = \frac{c}{\kappa}\int_S \nabla\Phi \cdot dS = \frac{c}{\kappa}\int_V \nabla^2\Phi \, dV = \frac{4\pi Gc}{\kappa}\int_V \rho \, dV = \frac{4\pi GMc}{\kappa}$$

όπου M είναι η μάζα του κεντρικού αντικειμένου. Αυτό ονομάζεται φωτεινότητα του Έντινγκτον. Για καθαρό ιονισμένο υδρογόνο

$$L_{Edd} = \frac{4\pi G M m_P c}{\sigma_T}$$

$$\cong 1.26 \times 10^{31} \left(\frac{M}{M_{\odot}}\right) W = 1.26 \times 10^{38} \left(\frac{M}{M_{\odot}}\right) erg / s = 3.2 \times 10^{4} \left(\frac{M}{M_{\odot}}\right) L_{\odot}$$

όπου $M_{\odot}$ είναι η μάζα του Ήλιου και $L_{\odot}$ είναι η φωτεινότητα του Ήλιου.

Η μέγιστη φωτεινότητα μιας πηγής σε υδροστατική ισορροπία είναι η φωτεινότητα Eddington. Εάν η φωτεινότητα υπερβαίνει το όριο Eddington, τότε η πίεση ακτινοβολίας οδηγεί σε έκρηξη του αστέρα.

Υδροστατική ισορροπία: Σύμφωνα με την υδροστατική ισορροπία, όλες οι δυνάμεις που ασκούνται σ' ένα μικρό όγκο μέσα στον αστέρα πρέπει ν' αναιρούν η μια την άλλη, διαφορετικά η συνισταμένη δύναμη θα προκαλούσε κινήσεις και συνεπώς αλλαγές στη δομή του αστέρα και στην ατμόσφαιρα του. Οι μόνες δυνάμεις που θεωρούμε ότι ασκούνται, είναι η δύναμη βαρύτητας που κατευθύνεται προς το κέντρο του αστέρα και η πίεση που κατευθύνεται προς τα έξω (βλέπε εργασία της Αντωνοπούλου, Ε. «*Αστρικές Ατμόσφαιρες - Εσωτερικό Αστέρων*». Πανεπιστήμιο Αθηνών, σ. 10, users.uoa.gr/~eantonop/Astro-I.pdf).

Σκέδαση Thomson: Η σκέδαση Thomson είναι σκέδαση φωτός από φορτισμένα σωματίδια, τα ηλεκτρόνια, και μπορούμε να την αντιληφθούμε ως εξής:
Ας θεωρήσουμε ένα προσπίπτον ηλεκτρομαγνητικό κύμα πάνω σ' ένα φορτισμένο σωματίδιο. Ως αποτέλεσμα του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου του κύματος το σωματίδιο επιταχύνεται. Το φορτισμένο σωματίδιο καθώς επιταχύνεται εκπέμπει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία προς όλες τις κατευθύνσεις.
Αυτή η ακτινοβολία είναι το σκεδαζόμενο κύμα. Το αποτέλεσμα της σκέδασης του φωτός εξαρτάται από την ενέργεια των ηλεκτρονίων με τα οποία αλληλεπιδρά (βλέπε άρθρο «*Πως μετράμε την πολύ υψηλή θερμοκρασία που επικρατεί στην κατάσταση πλάσματος;*» Physics4u, Σεπτέμβριος 2003, http://www.physics4u.gr/faq/temperatureplasma.html).

Ενεργός διατομή (cross section): Ενεργός διατομή σ είναι μια υποθετική δραστική επιφάνεια γύρω από έναν σκεδαστή, μέσα στην οποία κάποιο εισερχόμενο σωματίδιο μπορεί να προκαλέσει μια αλληλεπίδραση με τον σκεδαστή (σκέδαση, απορρόφηση,…).

Η ενεργός διατομή σ αποτελεί μέτρο της πιθανότητας να συμβεί η αλληλεπίδραση με τον σκεδαστή. Προφανώς, διαφορετικά είδη αλληλεπίδρασης με έναν σκεδαστή έχουν και διαφορετικές ενεργές διατομές (αναφέρονται και ως μερική ενεργός διατομή).

Η πιθανότητα αλληλεπίδρασης σωματιδίου με κάποιο υλικό συνολικά, εξαρτάται επίσης από το μήκος διαδρομής του μέσα στο υλικό και από την πυκνότητα n των σκεδαστών εντός του υλικού.

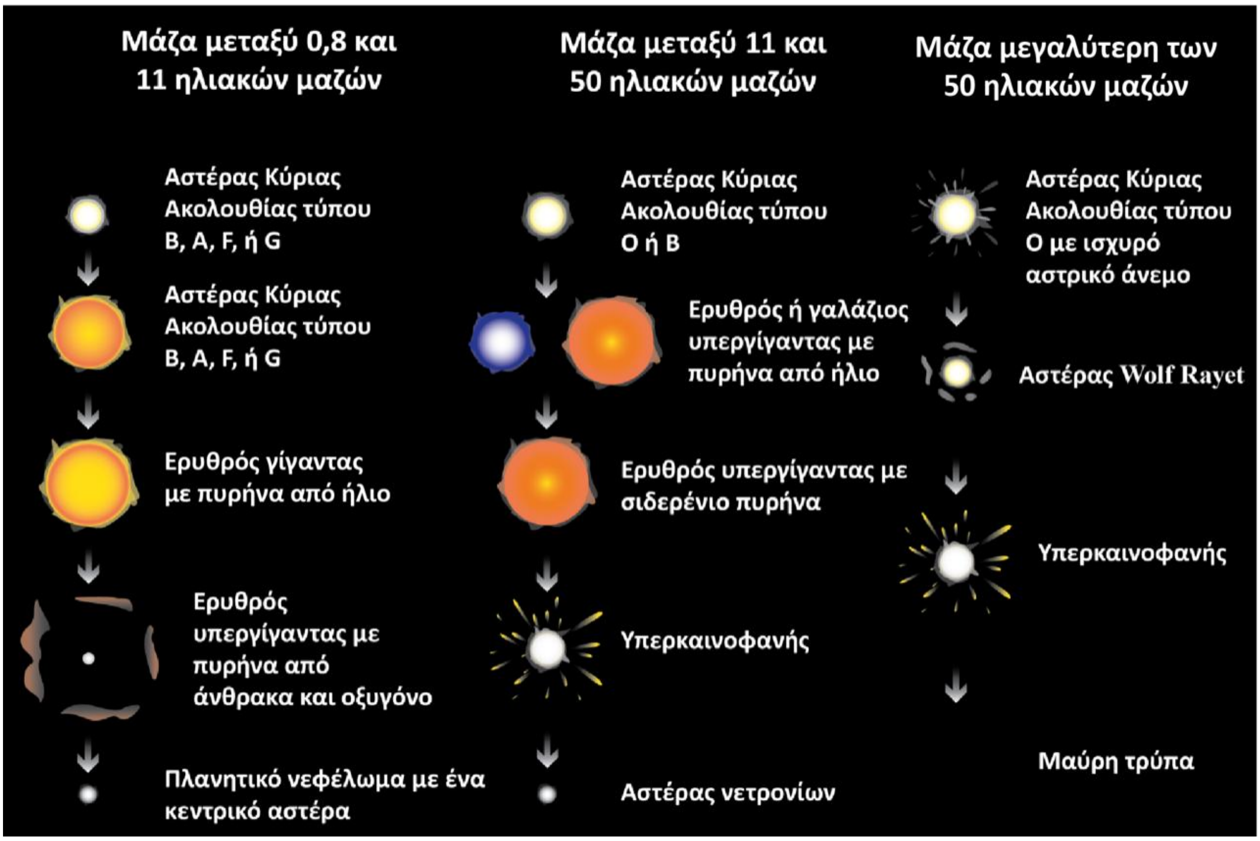
Ορίζεται επίσης, η διαφορική ενεργός διατομή $d\sigma/d\Omega$, η οποία αναφέρεται στον τρόπο με τον οποίο σκεδάζεται χωρικά το σωματίδιο από τον σκεδαστή.

Η συνήθης μονάδα ενεργού διατομής είναι το barn:

$$1\text{ b} = 10^{-24}\text{ cm}^2 = 10^{-28}\text{ m}^2 = 100\text{ fm}^2$$

(βλέπε παρουσίαση του Λιόλιου, Α. «*Το άτομο και η δομή του - Ανακάλυψη του πυρήνα*». http://skiathos.physics.auth.gr/atlas/Nuclear_Physics/2014/T2/Liolios/LIO-3_Scattering_Rutherford_etc.pdf).

Σημείωση: Κατά τη σκέδαση ακτινοβολίας από ελεύθερα ηλεκτρόνια, το φωτόνιο αλλάζει διεύθυνση αλλά δεν αλλάζει συχνότητα. Το φαινόμενο αυτό που ονομάζεται σκέδαση Thomson διαφέρει από τη σκέδαση Compton στο ότι οι ταχύτητες των ηλεκτρονίων δεν είναι σχετικιστικές. Στην περίπτωση αυτή η ενεργός διατομή της σκέδασης είναι ανεξάρτητη της συχνότητας ν της ακτινοβολίας.



Σχήμα 5.1: Η εξέλιξη αστέρων διαφορετικής μάζας

Φιλμάκι: Μεγέθη πλανητών & αστέρων

ART STUDIO: Το video είναι μια διασκευή που φτιάχτηκε με βάση την ιδέα του morn1415 (YouTube Channel) και μουσική του George Brendas.

Μεγέθη πλανητών & αστέρων

https://www.youtube.com/watch?v=Vj6Orwh8AjI

5.3 Τα φυσικά χαρακτηριστικά των αστέρων

Οι αστέρες που βλέπουμε με γυμνό μάτι στον ουρανό παρουσιάζουν ποικιλία ως προς τη λαμπρότητα - φωτεινότητα, το χρώμα ή το φασματικό τους τύπο. Άλλοι είναι λαμπροί και άλλοι αμυδροί. Μερικοί φαίνονται ερυθροί και άλλοι κίτρινοι ή γαλάζιοι.

(α) Λαμπρότητα και Μέγεθος των Αστέρων:

Αν παρατηρήσουμε μια νύχτα προσεκτικά τους αστέρες, μπορούμε εύκολα να συμπεράνουμε ότι δεν έχουν όλοι την ίδια λαμπρότητα (με σημερινή ορολογία «μέγεθος» ή φαινόμενο μέγεθος). Οι διαφορές αυτές οφείλονται σε τρεις λόγους: στην απόσταση, στο μέγεθος και στη θερμοκρασία τους. Συνεπώς, το «μέγεθος» ή το φαινόμενο μέγεθος ενός αστέρα δεν εκφράζει τις πραγματικές του διαστάσεις, αλλά μόνο τη λαμπρότητά του σε σχέση μ’ εκείνη των άλλων αστέρων.

Οι αστέρες ταξινομήθηκαν από τους αρχαίους Έλληνες ανάλογα με τη λαμπρότητά τους, βάσει της οποίας και προσδιορίστηκαν σε μεγέθη.

Επιπρόσθετα, η λαμπρότητα ή το φαινόμενο μέγεθος των αστέρων[6] δεν εξαρτάται μόνο από την πραγματική τους λαμπρότητα (δηλαδή την ολική φωτεινή ενέργεια που εκπέμπει ο αστέρας στη μονάδα του χρόνου και σε όλα τα μήκη κύματος), αλλά και από την απόσταση του αστέρα από τον παρατηρητή. Για το λόγο αυτό, οι επιστήμονες προσδιορίζουν το φαινόμενο μέγεθος (m) ενός αστέρα, σε συγκεκριμένη απόσταση (32,6 έτη φωτός) που επιλέγηκε αυθαίρετα, και το μέγεθος που βρίσκουν με τον τρόπο αυτό ονομάζεται απόλυτο μέγεθος (M). Ο όρος «απόλυτο μέγεθος» αναφέρεται στο πόσο λαμπρός θα ήταν ένας δεδομένος αστέρας αν βρισκόταν σε απόσταση από τη Γη 32,6 ε.φ.

Η σχέση μεταξύ φαινόμενου και απόλυτου μεγέθους είναι:

$$m - M = 5 \log r - 5$$

όπου r η απόσταση του αστέρα από τον παρατηρητή σε parsec (1 parsec = 3,26 ε.φ.)

(β) Θερμοκρασία – Χρώμα: Η προσεκτική παρατήρηση των αστέρων μας οδηγεί και σε μια ακόμη διαπίστωση, ότι έχουν διαφορετικά χρώματα. Η αιτία της διαβάθμισης των χρωμάτων των αστέρων είναι η διαφορετική θερμοκρασία της ατμόσφαιρας τους. Οι θερμότεροι έχουν χρώμα μπλε, ενώ οι ψυχρότεροι κόκκινο.

Η ακτινοβολία που εκπέμπει ένας, για παράδειγμα, κόκκινος αστέρας συνίσταται από φωτόνια με μήκη κύματος ως επί το πλείστον στην περιοχή του ερυθρού, γεγονός που οφείλεται στη χαμηλή θερμοκρασία του αστέρα.

Έτσι, τα φάσματα αστέρων διαφορετικής θερμοκρασίας είναι διαφορετικά μεταξύ τους. Από τα φάσματα των αστέρων μπορούμε να υπολογίζουμε τη θερμοκρασία της ατμόσφαιράς τους[7].

---

6. Φαινόμενο μέγεθος ενός ουράνιου αντικειμένου είναι ένα μέτρο της φαινόμενης λαμπρότητάς του. Συμβολίζεται με το γράμμα m και συνδέεται με τη φαινόμενη λαμπρότητα 1 με τη σχέση $m = 2{,}5\log 1 + c$, όπου c είναι μια σταθερά που εξαρτάται από το όργανο (ανιχνευτή) παρατήρησης.

7. Για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας των αστέρων, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο νόμος του Wien, καθώς με καλή προσέγγιση, οι αστέρες μπορούν να θεωρηθούν μέλανα σώματα.

Ο νόμος λέει ότι:

$\text{wavelenght max } (\lambda) * \text{ Temperature } (T) = b = \text{σταθερά με τιμή } 2.9 * 10^{-3} \text{ Kelvin} * \text{meter}$

$\text{ή για συχνότητα fmax} = T * 59 \text{ GHz/Kelvin}$

το λmax ή το fmax αναφέρεται στο μήκος κύματος/συχνότητα που ο αστέρας ακτινοβολεί στο μέγιστο της έντασής του. Άρα, μπορείς να βρεις την συχνότητα αυτή (του μεγίστου του φάσματος εκπομπής του αστέρα) αν γνωρίζεις την θερμοκρασία του και το αντίστροφο.

(γ) Φασματικός Τύπος: Η μορφή των φασμάτων της ακτινοβολίας που εκπέμπουν οι αστέρες είναι παρόμοια με αυτή του Ήλιου. Τα φάσματα όμως των αστέρων παρουσιάζουν και διαφορές που οφείλονται στη διαφορετική τους θερμοκρασία και χημική σύσταση. Έτσι οι αστέρες έχουν ταξινομηθεί σύμφωνα με το φάσμα της ακτινοβολίας που εκπέμπουν. Από τους θερμότερους προς τους ψυχρότερους κατατάσσονται στους εξής φασματικούς τύπους: O – B – A – F – G – K – M. Οι φασματικοί αυτοί τύποι διαιρέθηκαν περαιτέρω σε υποκατηγορίες, από το 0 έως το 9. Ο Ήλιος μας για παράδειγμα είναι φασματικού τύπου G2.

Συνεχές φάσμα: Το φάσμα ακτινοβολίας που περιέχει όλα τα δυνατά μήκη κύματος μιας περιοχής του Η/Μ φάσματος, χωρίς να διακόπτεται από γραμμές εκπομπής ή απορρόφησης. Συνεχές είναι το φάσμα της ακτινοβολίας που εκπέμπει θερμή ύλη υψηλής πυκνότητας. Επίσης, συνεχές είναι το φάσμα της ακτινοβολίας που εκπέμπεται από φορτισμένα σωματίδια, συνήθως ηλεκτρόνια, υψηλής κινητικής ενέργειας, που κινούνται μέσα σε μαγνητικό πεδίο.

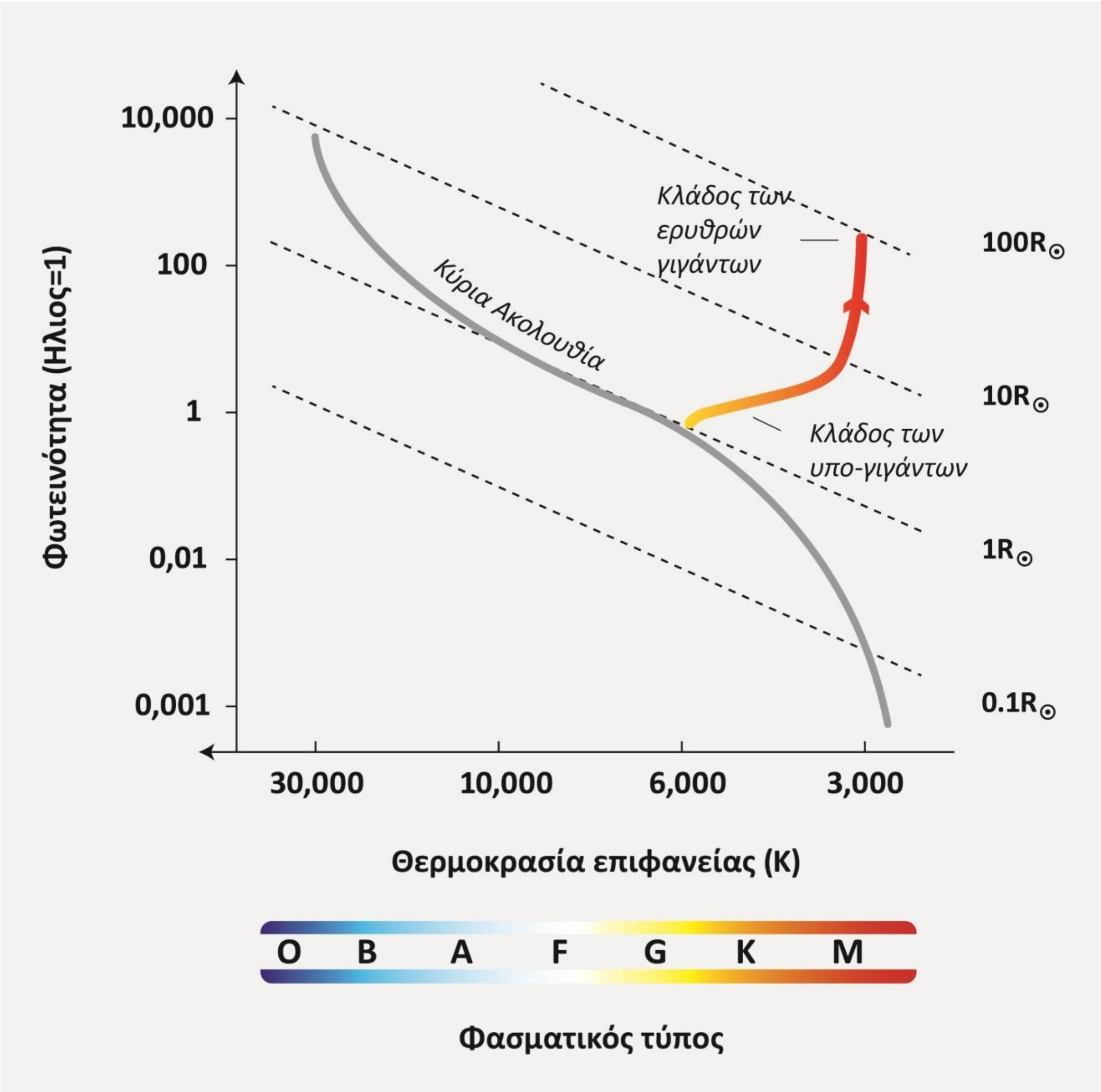
Φάσμα εκπομπής (γραμμικό): Το φάσμα της ακτινοβολίας που εκπέμπεται από διάπυρα αέρια σε χαμηλή πίεση. Περιέχει εντελώς συγκεκριμένες και διακριτές τιμές μήκους κύματος. Η θέση των φασματικών γραμμών, δηλαδή οι τιμές των μηκών κύματος των φωτονίων που περιέχει η εκπεμπόμενη ακτινοβολία, εξαρτάται από το είδος των ατόμων, μορίων και άλλων δομικών λίθων, από τους οποίους αποτελείται το αέριο. Δηλαδή, υπάρχει αντιστοιχία του φάσματος εκπομπής και της χημικής σύστασης της πηγής.

Φάσμα απορρόφησης: Το φάσμα της Η/Μ ακτινοβολίας που προκύπτει όταν ακτινοβολία με συνεχές φάσμα διέλθει μέσα από κάποιο υλικό σώμα. Το υλικό σώμα απορροφά τα Η/Μ κύματα, που έχουν συχνότητες ίδιες με εκείνα που μπορεί να εκπέμψει. Έτσι, η τυπική μορφή ενός φάσματος απορρόφησης χαρακτηρίζεται από ένα συνεχές υπόβαθρο που διακόπτεται από σκοτεινές γραμμές.

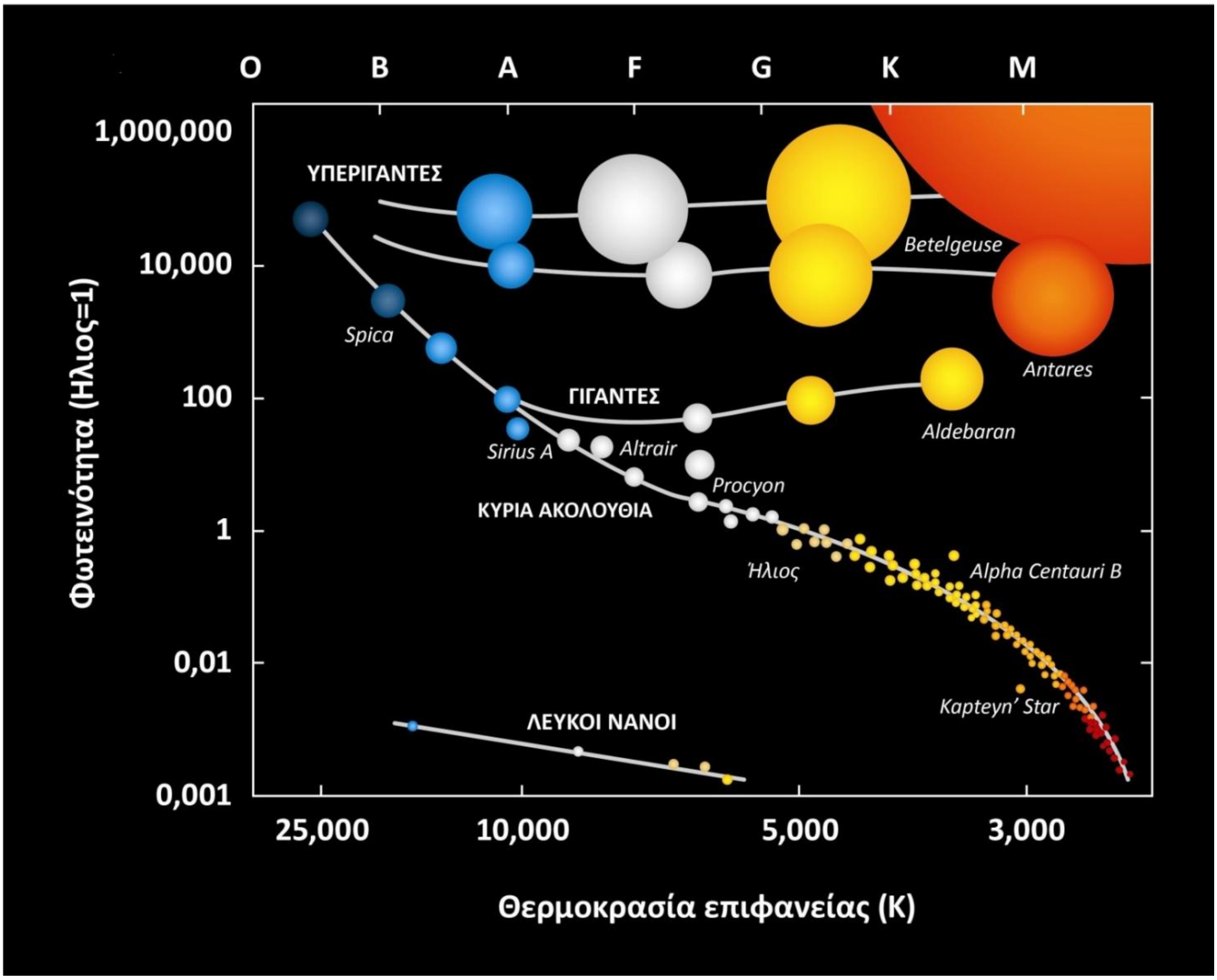
5.4 Το Διάγραμμα H-R

Ένας αστέρας, κατά τη διάρκεια της ζωής του, εμφανίζει μεταβολές των φυσικών του χαρακτηριστικών. Λόγω του χρόνου ζωής του, δεν μπορούμε να έχουμε στοιχεία για τα στάδια της ζωής ενός αστέρα ή ενός γαλαξία. Το πρόβλημα αυτό μπορεί να λυθεί, αρκεί να μελετήσουμε ένα πλήθος αστέρων ή γαλαξιών που βρίσκονται σε διαφορετικά στάδια εξέλιξης.

Με τα διαγράμματα Hertzsprung - Russell (H–R) σχ. 5.2 και 5.3, όπου ταξινομούνται οι αστέρες με βάση τις τιμές των φυσικών τους χαρακτηριστικών, μπορούμε να παρακολουθήσουμε τα στάδια εξέλιξής τους.



Σχήμα 5.2: Το διάγραμμα H-R ως συνάρτηση του φασματικού τύπου και της λαμπρότητας των αστέρων. Στο διάγραμμα αυτό επιπλέον υπάρχουν πλάγιες γραμμές που αντιστοιχούν σε αστέρες συγκεκριμένης ακτίνας. Είναι αξιοσημείωτο ότι αστέρες με ακτίνα ίση με 10 ηλιακές ακτίνες και φασματικού τύπου O είναι νάνοι αστέρες, ενώ, όταν για την ίδια ακτίνα ο φασματικός τύπος είναι G, ο αστέρας ανήκει στην κατηγορία των γιγάντων.



Σχήμα 5.3: Διάγραμμα H-R. Οι λευκές γραμμές δείχνουν τις διαφορετικές ομάδες γνωστών αστέρων του ουρανού. Στον οριζόντιο άξονα μετράμε τις θερμοκρασίες και στον κατακόρυφο τη φωτεινότητα. Οι διαστάσεις των αστέρων της ίδιας ομάδας είναι ανάλογες με τις πραγματικές, ενώ δεν ισχύει αυτό μεταξύ των αστέρων διαφορετικών ομάδων.

Παρατηρώντας τα διαγράμματα H - R (5.2 και 5.3) διαπιστώνουμε ότι:

- Οι αστέρες δεν κατανέμονται ομοιόμορφα και τυχαία, αλλά ομαδοποιούνται σε τέσσερεις βασικές περιοχές του διαγράμματος. Οι αστέρες κάθε ομάδας έχουν περίπου τις ίδιες μάζες και ακτίνες[8].
- Οι πλείστοι αστέρες βρίσκονται κατά μήκος της Κύριας Ακολουθίας, δηλαδή μιας ζώνης που διασχίζει διαγώνια το διάγραμμα. Ο Ήλιος, καθώς και οι άλλοι αστέρες της Κύριας Ακολουθίας, ονομάζονται νάνοι αστέρες.

  Οι αστέρες χαμηλής θερμοκρασίας (κόκκινου χρώματος) βρίσκονται στο δεξί κάτω άκρο της Κύριας Ακολουθίας, ενώ οι αστέρες υψηλής θερμοκρασίας (μπλε χρώματος) εντοπίζονται στο επάνω αριστερό άκρο.
- Οι αστέρες περνούν τον περισσότερο χρόνο της ζωής τους ως νάνοι αστέρες, πράγμα που μπορούμε να υποθέσουμε από το ότι το 90% των αστέρων που βλέπουμε ανήκουν στην Κύρια Ακολουθία.
- Οι γίγαντες και οι υπεργίγαντες αστέρες (οι γίγαντες υπερέχουν σε αριθμό από τους υπεργίγαντες) είναι κατά σειρά πάνω και δεξιά από την Κύρια Ακολουθία. Το όνομα τους προκύπτει από τις μεγάλες διαστάσεις που έχουν σε σύγκριση με τους αστέρες της Κύριας Ακολουθίας.
- Κάτω και αριστερά από την Κύρια Ακολουθία βρίσκονται οι λευκοί νάνοι. Παρόλο που οι θερμοκρασίες των λευκών νάνων είναι υψηλές, όπως προκύπτει από το φάσμα τους είναι αμυδροί αστέρες, εξαιτίας των μικρών τους διαστάσεων.

---

8. Η ακτίνα των αστέρων μπορεί να υπολογιστεί από το γινόμενο της απόστασης του αστέρα (d)* tan (a/2) όπου a η γωνιακή διάμετρος των αστεριών (βλέπε διάλεξη του Παπαδάκη, Ι. «*Πόσο "μεγάλα" είναι τα αστέρια;»* Διάλεξη 3η του μαθήματος Αστροφυσική Ι, Πανεπιστήμιο Κρήτης, σ. 1, http://ph230.edu.physics.uoc.gr/files/astro-lecture3.pdf).

Χρησιμοποιώντας τις σχέσεις που υπάρχουν μεταξύ των διάφορων φυσικών χαρακτηριστικών των ουράνιων σωμάτων και των αποστάσεών τους από τη Γη (βλέπε πρόσθετο που ακολουθεί), είναι δυνατό να υπολογιστούν με αρκετά καλή προσέγγιση οι αποστάσεις και των πλέον απομακρυσμένων γαλαξιών.

Όσο πιο μακριά βρίσκεται ένα ουράνιο αντικείμενο τόσο πιο μεγάλη διαδρομή κάνει η ακτινοβολία που εκπέμπει για να φτάσει σε μας. Άρα, όσο πιο μακριά βρίσκονται τα αντικείμενα που παρατηρούμε, τόσο πιο βαθιά βλέπουμε στο παρελθόν. Για παράδειγμα, όταν παρατηρούμε τον γαλαξία της Ανδρομέδας, που απέχει 2,5 εκατομμύρια έτη φωτός από τη Γη, στην πραγματικότητα παρατηρούμε το γαλαξία αυτόν, όπως ήταν πριν 2,5 εκατομμύρια χρόνια.

(α) Αποστάσεις των Αστέρων

Όπως είδαμε, τα διάφορα ουράνια σώματα εκπέμπουν ακτινοβολία που χρειάζεται χρόνο για να φτάσει στη Γη. Από τον πλησιέστερο αστέρα χρειάζεται 4,3 χρόνια για να φτάσει σ'εμάς, δηλαδή ο αστέρας απέχει από την Γή 4,3 έτη φωτός.

Για τον προσδιορισμό των αποστάσεων αυτών χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι, όπως:

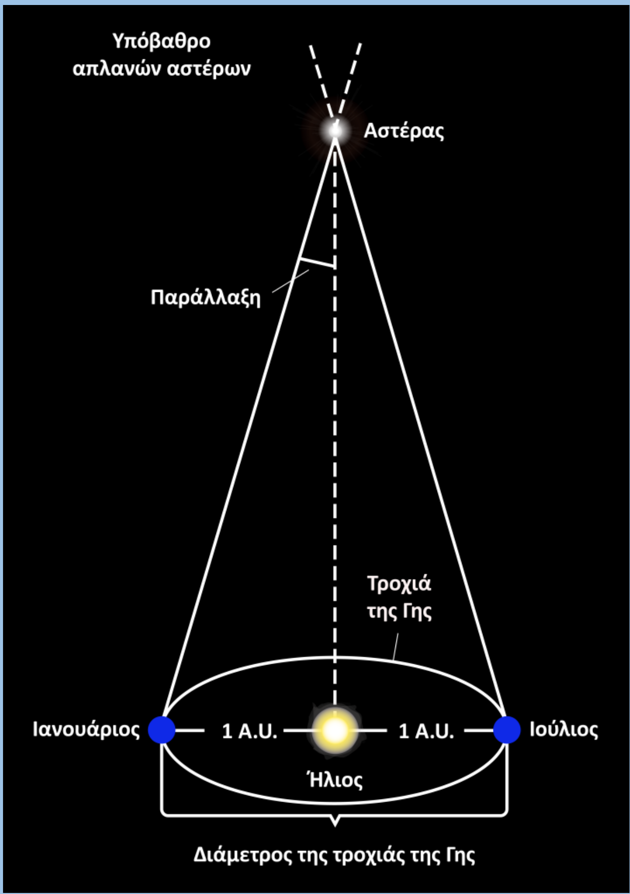
α) Η τριγωνομετρική μέθοδος, η οποία μας βοηθά να βρούμε τις αποστάσεις των αστέρων που βρίσκονται αρκετά κοντά στο ηλιακό μας σύστημα. Αυτό γίνεται με τη μέτρηση της γωνίας με την οποία φαίνεται η ακτίνα της τροχιάς της Γης γύρω από τον Ήλιο από έναν υποθετικό παρατηρητή που βρίσκεται στον αστέρα. Πιο συγκεκριμένα προσδιορίζοντας τις συντεταγμένες του αστέρα σε δύο ημερομηνίες που διαφέρουν μεταξύ τους κατά έξι μήνες, βρίσκουμε την **ηλιοκεντρική παράλαξη π** του αστέρα (βλέπε σχ. 5.4, 5.5, σελ. 204).

Όταν η παράλλαξη ενός αστέρα είναι 1´´, τότε η απόσταση του από τη Γη είναι εξ ορισμού 1 παρσέκ (pc = parsec, από το parallax και second – μονάδα μέτρησης των αποστάσεων των αστέρων).

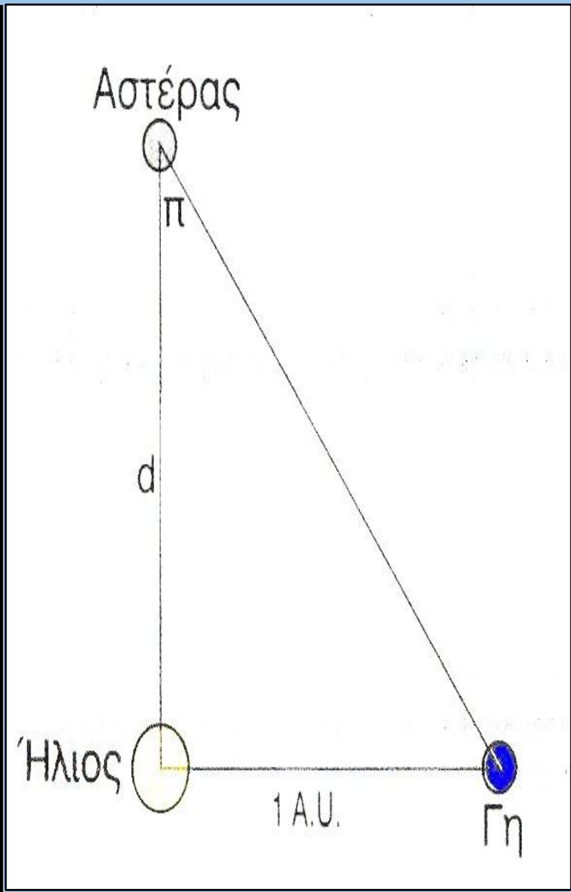
β) Η μέθοδος της φασματοσκοπικής παράλαξης, η οποία χρησιμοποιείται όταν οι αστέρες βρίσκονται σε απόσταση μεγαλύτερη από 300 έτη φωτός. Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στη μέτρηση της έντασης ορισμένων γραμμών του φάσματος του αστέρα. Από τη μέτρηση αυτή προσδιορίζεται το φαινόμενο και το απόλυτο μέγεθος του. Τότε με τη βοήθεια της σχέσης

$$m - M = 5 \log r - 5$$

υπολογίζουμε την απόσταση r του αστέρα.



Σχήμα 5.4: Το τόξο που διαγράφει ένας αστέρας σε χρονικό διάστημα 6 μηνών δίνει την παράλλαξή του. Αστέρες που βρίσκονται σε απόσταση 1 pc έχουν παράλλαξη 1 δευτερόλεπτο τόξου.



Σχήμα 5.5: Από το σχήμα έχουμε: εφπ=1A.U/d, και, επειδή η γωνία π είναι πολύ μικρή, ισχύει εφπ ≈ π (σε ακτίνια). Επομένως η προηγούμενη σχέση γράφεται: π=1AU/d ή σε δευτερόλεπτα τόξου π"=206.265A.U./d, αφού 1 ακτίνιο=206265". Αν ορίσουμε 1 pc (παρσέκ)=206.265A.U, τότε έχουμε π"=1pc/d ή d=1/π, όπου, το d δίνεται σε παρσέκ και το π σε δευτερόλεπτα τόξου.

γ) Τέλος, ο συνδυασμός διαφόρων μεθόδων χρησιμοποιείται για να υπολογισθούν οι αποστάσεις κάποιων πολύ απομακρυσμένων αστέρων. Οι μέθοδοι αυτοί στηρίζονται κυρίως στη μέτρηση της φαινόμενης λαμπρότητας των μεταβλητών αστέρων[9] (αστέρων, δηλαδή, που η λαμπρότητα τους μεταβάλλεται περιοδικά). Το απόλυτο μέγεθος και κατ' επέκταση η απόσταση ενός μεταβλητού αστέρα από τη Γη σχετίζεται με την περίοδο της μεταβολής της λαμπρότητας του αστέρα και προσδιορίζεται μέσω αυτής.

9. Η μεταβολή της λαμπρότητας των μεταβλητών αστέρων οφείλεται είτε σε περιοδικές αναπάλσεις (συστολή και διαστολή) της ατμόσφαιράς τους, είτε σε εκρήξεις στις επιφανειακές στιβάδες τους. Στη δεύτερη περίπτωση έχουμε έκρηξη των αστέρων και διαστολή της θερμής ύλης τους (καινοφανείς και υπερκαινοφανείς αστέρες) βλέπε σύγγραμμα του Γαβρίλη, Κ., κ.ά. (2000) «*Στοιχεία Αστρονομίας & Διαστημικής*». Β΄ Ενιαίου Λυκείου, έκδοση Β΄, Ο.Ε.Δ.Β., Αθήνα, σσ. 103 - 104.

Ωστόσο, θα πρέπει να σημειώσουμε ότι οι αποστάσεις των αστέρων αλλάζουν εξαιτίας της κίνησής τους[10], παρόλο που φαίνονται ακίνητοι στον ουρανό (σαν φωτεινά σημεία) λόγω των τεραστίων αποστάσεών τους από τη Γη.
Η μέτρηση της κίνησής τους ή της ακτινικής τους ταχύτητας[11] γίνεται με βάση το **φαινόμενο Doppler:** Ένας παρατηρητής που λαμβάνει κύματα από μία πηγή κυμάτων διαπιστώνει μεταβολή στο μήκος και τη συχνότητα του κύματος που λαμβάνει, όταν η πηγή βρίσκεται σε σχετική κίνηση ως προς αυτόν.
Το μέγεθος της παρατηρούμενης μεταβολής του μήκους κύματος (Δλ) είναι ανάλογο προς το μέτρο της ακτινικής ταχύτητας v_R του σώματος ως προς τον παρατηρητή. Ισχύει η σχέση:

$$\Delta\lambda/\lambda_0 = v_R/c$$

όπου λ_0 είναι το μήκος κύματος, όταν το σώμα και ο παρατηρητής βρίσκονται σε σχετική ακινησία και c η ταχύτητα του φωτός στο κενό.

Από την προηγούμενη σχέση βλέπουμε ότι μετρώντας τη μεταβολή Δλ του μήκους κύματος λ_0 , μπορούμε να υπολογίσουμε την ακτινική ταχύτητα v_R του φωτεινού σώματος ως προς τον παρατηρητή:

$$v_R = (\Delta\lambda/\lambda_0) \cdot c$$

---

10. Η κίνηση των αστέρων, δημιουργείται και οφείλεται στην περιστροφή του νέφους αερίων και σκόνης πριν την γέννησή τους, καθώς και στις αλληλεπιδράσεις με τα υπόλοιπα ουράνια σώματα, που τους κρατούν σε τροχιές λόγω της βαρυτικής αλληλεπίδρασης.
11. Ακτινική ταχύτητα ενός αστέρα ως προς τη Γη είναι η ταχύτητα με την οποία απομακρύνεται από αυτή ή πλησιάζει προς αυτή (βλέπε σύγγραμμα του Γαβρίλη, Κ. κ.ά. (2000) «*Στοιχεία Αστρονομίας & Διαστημικής*». Β΄ Ενιαίου Λυκείου, έκδοση Β΄, Ο.Ε.Δ.Β., Αθήνα, σ. 96).

(i) Απόδειξη του τύπου της ακτινικής ταχύτητας ενός φωτεινού σώματος

Για να αποδείξουμε τον τύπο της ακτινικής ταχύτητας ενός φωτεινού σώματος, θα υποθέσουμε ότι μια πηγή κυμάτων (S) κινείται προς τον ακίνητο παρατηρητή $(\upsilon_O = 0)$ με ταχύτητα υ_s (βλέπε σχ. 5.6). Η κίνηση της πηγής έχει ως αποτέλεσμα τα μέτωπα του κύματος να «συμπιέζονται» προς την κατεύθυνση της κίνησης της πηγής και να «αραιώνουν» στην αντίθετη κατεύθυνση (πίσω από την πηγή). Επειδή η πηγή μετατοπίζεται ανάμεσα στην εκπομπή μιας «κορυφής» του κύματος και της επόμενης, το μήκος κύματος διαφέρει σε σχέση με εκείνο της ακίνητης πηγής.

Σχήμα 5.6



Συγκεκριμένα, εάν η πηγή ήταν ακίνητη, σε χρόνο μιας περιόδου T το κύμα θα είχε καλύψει απόσταση από την πηγή ίση με ένα μήκος κύματος:

$$\lambda_0 = \upsilon \mathrm{T} = \frac{\upsilon}{\nu}$$

όμως, στον ίδιο χρόνο, η κινούμενη πηγή μετατοπίστηκε κατά διάστημα $\upsilon_s \mathrm{T}$ στην ίδια κατεύθυνση. Συνεπώς, το μήκος κύματος ελαττώνεται κατά το ίδιο ποσό (μπροστά από την πηγή). Το νέο μήκος κύματος λ' θα είναι:

$$\lambda' = \lambda_0 - \upsilon_s \mathrm{T} \qquad (5.1)$$

Σε ένα κύμα η συχνότητα ν είναι ανάλογη της ταχύτητας υ του κύματος και αντιστρόφως ανάλογη του μήκους λ του κύματος: $\nu = \frac{\upsilon}{\lambda}$

Στην περίπτωση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων που διαδίδονται στο κενό, η ταχύτητα είναι $\upsilon = c$,
όπου c η ταχύτητα του φωτός, άρα $\nu = \frac{c}{\lambda}$

Γνωρίζοντας το χρόνο μιας περιόδου μπορεί να υπολογιστεί η συχνότητα από τη σχέση: $\nu = \frac{1}{\mathrm{T}} \Rightarrow \mathrm{T} = \frac{\lambda}{c}$

αντικαθιστούμε στην (5.1) τη σχέση $\mathrm{T} = \frac{\lambda_0}{c}$ και έχουμε ότι

$$\lambda_0 - \lambda' = \upsilon_s \frac{\lambda_0}{c}$$

$$\frac{\lambda_0 - \lambda'}{\lambda_0} = \frac{\upsilon_s}{c}$$

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{\upsilon_s}{c}$$

άρα: $\upsilon_s = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} c$

επομένως η ακτινική ταχύτητα v_R ισούται με $\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} c$



Φιλμάκι: Πώς μετράμε αποστάσεις στο διάστημα;

Από: Γιουάν-Σεν Τινγκ

https://www.youtube.com/watch?v=Op3AYaJc0Xw

Δημοσιεύτηκε στις 9 Οκτ 2014. Από το TED-Ed

5.5 Στάδια εξέλιξης ενός αστέρα

5.5.1 Η πρώτη φάση της ζωής του: Το χρονικό διάστημα από τη γένεση του πρωτοαστέρα μέχρι την έναρξη των πυρηνικών αντιδράσεων στο εσωτερικό του και την είσοδό του στην Κύρια Ακολουθία του διαγράμματος H - R αποτελεί την πρώτη φάση της ζωής του.

5.5.2 Η φάση της Κύριας Ακολουθίας: Η επόμενη φάση της ζωής του ή φάση της Κύριας Ακολουθίας (Κ.Α.) είναι η περίοδος της ζωής του που έχει τη μεγαλύτερη διάρκεια (βλέπε πίνακα 5.7). Στη φάση αυτή λαμβάνει χώρα το φαινόμενο της «καύσης» του υδρογόνου σε ήλιο στον πυρήνα του αστέρα. Ο Ήλιος μας βρίσκεται στη φάση αυτή εδώ και περίπου 5 δισεκατομμύρια χρόνια, ενώ υπολογίζεται ότι θα παραμείνει σ' αυτή για άλλα τόσα χρόνια.

Κατά τη διάρκεια της φάσης αυτής οι αστέρες εμφανίζουν μεγάλη σταθερότητα ως προς τα διάφορα φυσικά χαρακτηριστικά τους.

Ο χρόνος ζωής ενός αστέρα στην Κ.Α.

Πίνακας 5.7: Approximate Main-Sequence Lifetimes
Κατά προσέγγιση διάρκεια ζωής στην Κύρια Ακολουθία

Mass Μάζα ($M_\odot$)	**Surface temperature Θερμοκρασία επιφάνειας (K)**	**Spectral class Φασματικός τύπος**	**Luminosity Φωτεινότητα ($L_\odot$)**	**Main-sequence lifetime (10^6 years) Διάρκεια κύριας ακολουθίας (10^6 χρόνια)**
25	35,000	O	80,000	4
15	30,000	B	10,000	15
3	11,000	A	60	800
1.5	7000	F	5	4500
1.0	6000	G	1	12,000
0.75	5000	K	0.5	25,000
0.50	4000	M	0.03	700,000

The main-sequence lifetimes were estimated using the relationship $t \propto 1/M^{2.5}$

Οι χρόνοι στην κύρια ακολουθία υπολογίστηκαν χρησιμοποιώντας τη σχέση $\boldsymbol{t \propto 1/M^{2.5}}$

..εξαρτάται από το ποσό του Η στον πυρήνα του και το ρυθμό κατανάλωσης.

Σημείωση: Φωτεινότητα του αστέρα ονομάζεται η ενέργεια που παράγει ο αστέρας στη μονάδα του χρόνου.

(α) Εκτίμηση της Αστρικής Ηλικίας

Οι διάφορες μέθοδοι και τα εργαλεία που εμπλέκονται στην εκτίμηση της αστρικής ηλικίας προσπαθούν να υπολογίσουν με περισσότερη ακρίβεια την ηλικία των άστρων. Αυτές οι μέθοδοι περιλαμβάνουν την αύξηση της φωτεινότητας σε συνδυασμό με το διάγραμμα Hertzsprung - Russell, τη συμμετοχή σε ένα σύμπλεγμα ή αστρικό σύστημα, την παρουσία ενός πρωτοπλανητικού δίσκου και τη Γυροχρονολογία (Gyrochronology). Σχεδόν όλες οι μέθοδοι για τον προσδιορισμό της ηλικίας απαιτούν γνώση της μάζας του αστεριού, η οποία μπορεί να είναι γνωστή με διάφορες μεθόδους. Καμία μεμονωμένη μέθοδος δεν μπορεί να δώσει ακριβή αποτελέσματα για όλους τους τύπους των άστρων.

(i) Αύξηση φωτεινότητας και το διάγραμμα Hertzsprung - Russell (H-R)

Όσο τα αστέρια «γερνούν» η φωτεινότητά τους αυξάνεται σε σημαντικό βαθμό. Δεδομένης της μάζας του αστεριού, μπορεί κανείς να χρησιμοποιήσει αυτό το ποσοστό αύξησης της φωτεινότητας προκειμένου να προσδιορίσει την ηλικία του άστρου. Αυτή η μέθοδος λειτουργεί μόνο για τον υπολογισμό της αστρικής ηλικίας στην Κύρια Ακολουθία, επειδή σε προχωρημένα στάδια εξέλιξης του αστεριού, όπως το στάδιο του κόκκινου γίγαντα, η τυπική σχέση για τον προσδιορισμό της ηλικίας δεν ισχύει πλέον. Ωστόσο, όταν κανείς μπορεί να παρατηρήσει ένα κόκκινο γίγαντα με γνωστή μάζα, μπορεί να υπολογίσει τη διάρκεια ζωής του στην Κύρια Ακολουθία και έτσι η ελάχιστη ηλικία του αστέρα να είναι γνωστή, δεδομένου ότι βρίσκεται σε προχωρημένο στάδιο της εξέλιξης του. Καθώς το αστέρι ξοδεύει μόνο το 1% του συνόλου της ζωής του στο στάδιο του κόκκινου γίγαντα, αυτή είναι μια ακριβής μέθοδος προσδιορισμού της ηλικίας.

Σημείωση: Η ακριβής μέτρηση των αποστάσεων των αστέρων που είδαμε προηγουμένως παίζει καθοριστικό ρόλο στον προσδιορισμό της φωτεινότητας και κατ΄επέκταση της αστρικής ηλικίας. Γνωρίζουμε πόσο φωτεινό φαίνεται ένα αστέρι αλλά δεν ξέρουμε πόσο φωτεινό είναι πραγματικά αν δεν γνωρίζουμε την απόστασή του.

Η διάρκεια της σταθερής φάσης ή φάσης της Κύριας Ακολουθίας εξαρτάται από τη μάζα ενός άστρου. Ένα αστέρι με μάζα 10 φορές μεγαλύτερη από αυτή του Ήλιου περιέχει προφανώς δέκα φορές περισσότερα καύσιμα. Καταναλώνει όμως τα καύσιμά του περίπου 10.000 φορές πιο γρήγορα από τον Ήλιο. Ως αποτέλεσμα, η συνολική διάρκεια ζωής του είναι 1000 φορές μικρότερη από εκείνη του Ήλιου μας.

Ομοίως, ένα αστέρι με 5 φορές μεγαλύτερη μάζα από τον Ήλιο έχει διάρκεια ζωής περίπου 100 φορές μικρότερη από τον Ήλιο πριν να γίνει ασταθές και να τελειώσει την ενεργό ζωή του. Ένα αστέρι όπως ο Ήλιος μας υπολογίζεται ότι έχει συνολική διάρκεια ζωής δέκα δισεκατομμύρια χρόνια. Ο Ήλιος έχει περίπου φτάσει στο ήμισυ της ηλικίας του (η ηλικία αυτή είναι πολύ ακριβής, προσδιορίζεται από τα ραδιενεργά στοιχεία στους μετεωρίτες).

Διάφορες ιδιότητες των αστεριών μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό της ηλικίας τους. Για παράδειγμα, το σύστημα Eta Carinae εκπέμπει μεγάλες ποσότητες αερίου και σκόνης. Αυτά τα τεράστια ξεσπάσματα μπορεί να χρησιμοποιηθούν για να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι το σύστημα των αστέρων αυτών πλησιάζει το τέλος της ζωής του και θα εκραγεί ως σουπερνόβα μέσα σε σχετικά σύντομο αστρονομικό χρόνο. Κάποιες άλλες αστρικές ιδιότητες όμως, οι οποίες επιτρέπουν την εκτίμηση της ηλικίας, δεν περιορίζονται σε προχωρημένα εξελικτικά στάδια. Σε περίπτωση που ένα κόκκινο αστέρι νάνος εκπέμπει τεράστιες αστρικές εκλάμψεις και ακτίνες Χ, μπορούμε να υποθέσουμε ότι αυτό βρίσκεται σε πρώιμο στάδιο της ζωής του στην Κύρια Ακολουθία, όπου κατά τη διάρκεια της παραμονής του σε αυτήν θα γίνει σταθερό και λιγότερο μεταβλητό.

(ii) Η συμμετοχή σε ένα σύμπλεγμα ή σύστημα αστέρων

Γνωρίζοντας την ηλικία ενός μέλους ενός συστήματος αστεριών μπορεί να προσδιοριστεί η ηλικία όλων των άλλων αστεριών του συστήματος. Σε ένα σύμπλεγμα αστέρων, έχουμε το πλεονέκτημα, ότι δημιουργούνται αστέρια όλων των μαζών περίπου την ίδια εποχή.

Έτσι το μόνο που έχουμε να κάνουμε είναι να κοιτάξουμε στο σύμπλεγμα και να καθορίσουμε πόσο θερμό και πόσο τεράστιο είναι το πιο θερμό, το πιο μπλε και το πιο μεγάλο σε μάζα αστέρι, που δεν έχει ακόμη εισέλθει στην ασταθή περίοδο της ζωής του.

Η μάζα του άστρου μας λέει πόσα καύσιμα είχε το αστέρι όταν γεννήθηκε, και η φωτεινότητα του άστρου μας λέει πόσο γρήγορα καίει τα καύσιμα αυτά. Γνωρίζουμε ότι το αστέρι πρόκειται να αρχίσει να γίνεται ασταθές. Γνωρίζουμε επίσης ότι τα καύσιμα του έχουν σχεδόν εξαντληθεί. Ο λόγος του πόσα καύσιμα είχε το αστέρι όταν γεννήθηκε ως προς το πόσο γρήγορα καίγονται αυτά τα καύσιμα, μας λέει πόσο καιρό το αστέρι ήταν «ζωντανό». Αναλογικά, αν γνωρίζουμε πόσα καύσιμα περιέχει ο αστέρας όταν δημιουργήθηκε, πόσο γρήγορα καταναλώνει τα καύσιμα αυτά και εάν ο αστέρας μόλις τώρα αρχίζει να γίνεται ασταθές, τότε μπορούμε να συμπεράνουμε την ηλικία του. Επειδή όλα τα αστέρια του σμήνους έχουν την ίδια ηλικία, η ηλικία αυτού του αστεριού μας λέει την ηλικία ολόκληρου του σμήνους.

Ωστόσο αυτή η μέθοδος δεν λειτουργεί για γαλαξίες. Οι μονάδες αυτές είναι πολύ μεγαλύτερες και δεν είναι απλώς ένα δημιούργημα από αστέρια που επιτρέπει η ηλικία τους να καθορίζεται από αυτό τον τρόπο. Η δημιουργία αστεριών σε ένα γαλαξία συμβαίνει εδώ και δισεκατομμύρια χρόνια, παρόλο που η παραγωγή των αστεριών μπορεί από καιρό να ’χει σταματήσει. Τα παλαιότερα αστέρια σε ένα γαλαξία μπορούν να ορίσουν μόνο ένα ελάχιστο όριο ηλικίας για το γαλαξία (όταν άρχισε ο σχηματισμός των αστέρων), αλλά σε καμία περίπτωση δεν καθορίζουν την πραγματική ηλικία.

(iii) Παρουσία πρωτοπλανητικού δίσκου

Μαζί με άλλους παράγοντες η παρουσία ενός πρωτοπλανητικού δίσκου θέτει ένα ανώτατο όριο στην ηλικία των άστρων. Τα αστέρια με πρωτοπλανητικό δίσκο είναι συνήθως νεαρά, έχοντας μετακινηθεί στην Κύρια Ακολουθία πριν από σχετικά μικρό χρονικό διάστημα. Με την πάροδο του χρόνου, αυτός ο δίσκος θα συγχωνευόταν για να σχηματίσει πλανήτες, με το υπόλοιπο υλικό να αποτίθεται σε διάφορες ζώνες αστεροειδών και σε άλλες παρόμοιες τοποθεσίες. Ωστόσο, η παρουσία των πλανητών πάλσαρ (pulsar) περιπλέκει τη μέθοδο αυτή ως καθοριστικό παράγοντα της ηλικίας.

(iv) Γυροχρονολογία (Gyrochronology)

Η Γυροχρονολογία είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της ηλικίας των αστέρων με τη μέτρηση του ρυθμού περιστροφής τους και στη συνέχεια τη σύγκριση αυτού του ρυθμού με το ρυθμό περιστροφής του Ήλιου, ο οποίος χρησιμεύει ως προκαθορισμένο ρολόι για τη μέτρηση αυτή. Η μέθοδος αυτή έχει θεωρηθεί ως η πιο ακριβής μέθοδος για τον προσδιορισμό των αστρικών ηλικιών, σε σχέση με τις άλλες μεθόδους.

Υπάρχουν και κάποιοι άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν σε κάποιο βαθμό τον υπολογισμό της ηλικίας των άστρων:

Η μετατροπή της πυρηνικής ενέργειας του άστρου σε ορατό φως. Πώς ακριβώς μεταφέρεται η ενέργεια από το κέντρο του αστεριού, όπου παράγεται, στην επιφάνεια, όπου μετατρέπεται στο φως που βλέπουμε; Πόσο σημαντική είναι η διάδοση θερμότητας (convection) ως μέσο μεταφοράς ενέργειας και πόσο αποτελεσματική είναι; Η απάντηση σε αυτά τα ερωτήματα έχει κάποια επίδραση στην σχέση μεταξύ της μάζας και της επιφανειακής θερμοκρασίας.

Η ποσότητα του οξυγόνου που υπάρχει στα αστέρια μαζί με το υδρογόνο και το ήλιο. Η σχετική ποσότητα του οξυγόνου που υπάρχει, έχει κάποια επίδραση στην απόδοση του κεντρικού «κλιβάνου» (πυρήνα), επηρεάζοντας τη σχέση μεταξύ μάζας και φωτεινότητας και ως εκ τούτου την ηλικία.

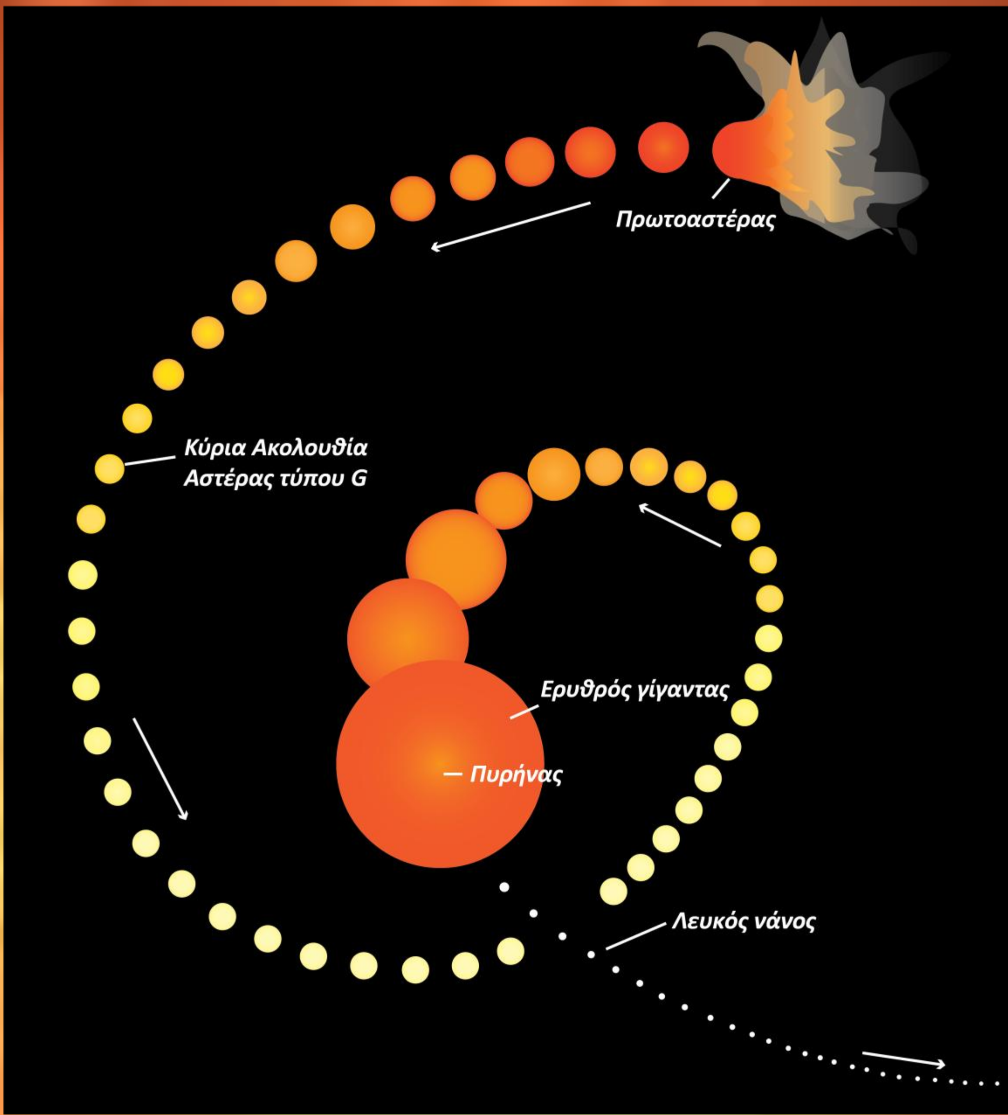
Συνολικά, η αβεβαιότητα στις παρατηρήσεις και η αβεβαιότητα στη σχετική θεωρητική φυσική μπορεί να οδηγήσει σε αβεβαιότητα του 10 - 20% της εκτίμησής μας για τις απόλυτες ηλικίες των άστρων.

5.5.3 Φάση μετά την Κύρια Ακολουθία: Η φάση αυτή αναφέρεται στην εξέλιξη του αστέρα μετά την Κύρια Ακολουθία και είναι το πιο σύντομο στάδιο της ζωής του.

Μετά την εξάντληση του υδρογόνου η ισορροπία του αστέρα καταστρέφεται. Ο πυρήνας του αρχίζει πάλι να συστέλλεται λόγω βαρύτητας, η θερμοκρασία του ανεβαίνει και, όταν φτάσει περίπου στους 10^8 K, αρχίζει η πυρηνική καύση του ηλίου σε άνθρακα. Η έναρξη αυτής της καύσης συνοδεύεται από τρομερή έκλυση ενέργειας που προκαλεί δραματική διαστολή του αστέρα. Η διαστολή αυτή έχει ως αποτέλεσμα την πτώση της θερμοκρασίας του και τη μετατόπιση του φάσματος της ακτινοβολίας του προς το ερυθρό. Ο αστέρας τότε μετατρέπεται σε έναν **ερυθρό γίγαντα**.

Αυτή είναι η πορεία που θα ακολουθήσει και ο Ήλιος (βλέπε σχ. 5.8). Στη φάση αυτή η ακτίνα του Ήλιου θα γίνει περίπου ίση με 1,1 A.U. και η Γη θα συγχωνευτεί με τον πυρήνα του.

Αν ο αστέρας έχει μάζα πολύ μεγαλύτερη από τη μάζα του Ήλιου, τότε, μετά την εξάντληση του στοιχείου ηλίου, ακολουθείται πάλι μια διαδικασία παρόμοια με την προηγούμενη, οπότε αρχίζει η πυρηνική καύση του άνθρακα. Η ενέργεια που απελευθερώνεται είναι τώρα ακόμα μεγαλύτερη. Ο αστέρας διαστέλλεται και παίρνει τρομακτικές διαστάσεις. Έτσι γίνεται ένας **ερυθρός υπεργίγαντας**.



Σχήμα 5.8: Σχηματική αναπαράσταση της εξέλιξης του Ηλίου. Διακρίνονται: α) Ο σχηματισμός του πρωτοαστέρα από ένα μεσοαστρικό νέφος. β) Η είσοδος στη φάση της Κύριας Ακολουθίας με την έναρξη των πυρηνικών αντιδράσεων στον πυρήνα του. γ) Η μακρόχρονη διάρκεια της φάσης της Κύριας Ακολουθίας. δ) Η φάση μετά την Κύρια Ακολουθία. Η μετατροπή του σε ερυθρό γίγαντα και τέλος σε λευκό νάνο.

5.5.4 Τελικά στάδια της εξέλιξης: Το τελευταίο στάδιο της εξέλιξης ενός αστέρα είναι το πιο αβέβαιο. Η πορεία που θα ακολουθηθεί εξαρτάται από τη μάζα που έχει ο αστέρας.

Τα τελικά στάδια της εξέλιξης είναι:

(α) Λευκοί νάνοι

(β) Αστέρες νετρονίων

(γ) Μελανές οπές (μαύρες τρύπες)



(α) Λευκοί νάνοι

Οι αστέρες με μάζα περίπου ίση με τη μάζα του Ήλιου, μετά το στάδιο του ερυθρού γίγαντα χάνουν σταδιακά, μέσα σε σύντομο χρονικό διάστημα, περίπου το 10 - 20% της αρχικής τους μάζας, λόγω ενός πολύ ισχυρού αστρικού ανέμου που εκπέμπεται από την επιφάνεια του αστέρα. Η ύλη που μεταφέρεται από τον αστρικό άνεμο σχηματίζει ένα **πλανητικό νεφέλωμα**.

Σύμφωνα με την θεωρία των λευκών νάνων, όταν εξαντληθεί το ήλιο, ο πυρήνας του αστέρα, που αποτελείται τώρα από άνθρακα, συρρικνώνεται πάλι λόγω βαρύτητας. Η μάζα όμως του αστέρα είναι σχετικά μικρή. Έτσι, οι βαρυτικές δυνάμεις δεν είναι τόσο ισχυρές, ώστε η πίεση και η θερμοκρασία να φτάσουν τις τιμές που απαιτούνται για να ξεκινήσει η πυρηνική καύση του άνθρακα. Τελικά ο πυρήνας φτάνει σε μια κατάσταση όπου η ύλη βρίσκεται σε πλήρη ιονισμό.

Τα ελεύθερα πλέον ηλεκτρόνια σχηματίζουν ένα νέφος, που αναπτύσσει ισχυρή εσωτερική πίεση στον πυρήνα του αστέρα. Η πίεση του νέφους των ηλεκτρονίων αντισταθμίζει τη βαρυτική συστολή και έτσι ο αστέρας ισορροπεί. Μετατρέπεται σε ένα **λευκό νάνο.**

Στο εσωτερικό του λευκού νάνου δεν συμβαίνουν πια θερμοπυρηνικές αντιδράσεις. Επειδή δεν έχει πηγές ενέργειας, ο λευκός νάνος σταδιακά ψύχεται. Η ακτινοβολία που εκπέμπει μειώνεται και τελικά μετατρέπεται σε ένα **μαύρο νάνο.**

Αυτή είναι η πορεία που θα ακολουθήσει και ο Ήλιος. Υπολογίζεται ότι χρειάζονται 10 δισεκατομμύρια χρόνια από τη διαδικασία σχηματισμού του μέχρι να γίνει λευκός νάνος και το ίδιο χρονικό διάστημα, για να μετατραπεί από λευκός σε μαύρο νάνο. Όταν ο Ήλιος μας καταλήξει σε λευκό νάνο, θα έχει περίπου το μέγεθος της γης και πυκνότητα 10^9 kg/m^3 (σημειώστε ότι η σημερινή πυκνότητα του Ήλιου είναι μόλις 1400 kg/m^3 και της γης 5.500 ^{9} kg/m^3!).

(β) Αστέρες νετρονίων

Οι αστέρες των οποίων οι μάζες κυμαίνονται από 5 έως 10 ηλιακές μάζες, περνούν από τη φάση του ερυθρού γίγαντα δύο φορές. Το γεγονός ότι στους πυρήνες των αστέρων αυτών η θερμοκρασία που αναπτύσσεται μετά την «καύση» του ηλίου, λόγω της βαρυτικής συστολής, είναι εξαιρετικά υψηλή (10^9K), ευνοεί την πραγματοποίηση θερμοπυρηνικών αντιδράσεων, κατά τις οποίες ο άνθρακας μετατρέπεται τελικά σε σίδηρο.

Ο σχηματισμός σιδήρου σηματοδοτεί το τέλος της παραγωγής ενέργειας μέσω πυρηνικών αντιδράσεων. Για να πραγματοποιηθούν οι πυρηνικές αντιδράσεις του σιδήρου, απαιτείται και δεν παράγεται ενέργεια[12]. Έτσι οι πυρηνικές αντιδράσεις σταματούν. Η πίεση του νέφους των ηλεκτρονίων δεν είναι αρκετά ισχυρή για να ανακόψει τη βαρυτική συστολή, που προκαλεί ταχύτατη κατάρρευση του πυρήνα.

Όταν η πυκνότητα του πυρήνα γίνει πολύ μεγάλη, τα πρωτόνια και τα νετρόνια απελευθερώνονται από τους πυρήνες των ατόμων. Τα ηλεκτρόνια συγχωνεύονται με τα πρωτόνια και τα μετατρέπουν σε νετρόνια. Δημιουργείται έτσι ένα αέριο νετρονίων, του οποίου η πίεση είναι ικανή να σταματήσει απότομα την κατάρρευση του πυρήνα.

Το υλικό των ανωτέρων στρωμάτων του αστέρα, που συνεχίζει να καταρρέει, συγκρούεται με τον πυρήνα, γεγονός που προκαλεί φοβερή έκρηξη, γνωστή με τον όρο έκρηξη υπερκαινοφανούς τύπου ΙΙ.

Το υπόλειμμα της έκρηξης ενός αστέρα μεσαίας κατηγορίας είναι ο πυρήνας του, ο οποίος, όπως είδαμε, αποτελείται από νετρόνια. Το ουράνιο σώμα που σχηματίζεται ονομάζεται **αστέρας νετρονίων.** Έχει εξαιρετικά μεγάλη πυκνότητα και η διάμετρός του είναι μόλις περί τα 10 km. Οι αστέρες νετρονίων εμφανίζουν πολύ ισχυρό βαρυτικό και μαγνητικό πεδίο.

Όταν οι αστέρες νετρονίων περιστρέφονται ονομάζονται πάλσαρς (pulsars) και εκπέμπουν περιοδικά ραδιοκύματα. Η περιστροφή γύρω από κάποιον άξονα οφείλεται στη διατήρηση της στροφορμής που είχε ο αστέρας από τον οποίο προέκυψε, και η εκπομπή ραδιοκυμάτων οφείλεται στα ηλεκτρόνια που είναι παγιδευμένα στο μαγνητικό του πεδίο.

Σημείωση: Οι υπερκαινοφανείς λέγονται αλλιώς και σουπερνόβα (supernovae).

12. Λόγω της αύξησης του φράγματος Coulomb στην περιοχή του Fe, δεν γίνεται να παραχθούν πυρήνες βαρύτεροι από αυτόν μέσω αντιδράσεων φορτισμένων σωματιδίων → χρειάζεται η συμμετοχή ουδέτερων σωματιδίων → σύλληψη νετρονίων, όπως για παράδειγμα η διαδικασία r - rapid process (μηχανισμός που οδηγεί στην αστρική πυρηνοσύνθεση) που λαμβάνει χώρα σε συνθήκες έκρηξης Supernova I ή II (για καλύτερη κατανόηση των μηχανισμών αστρικής πυρηνοσύνθεσης βλέπε εργασία του Γεωργουλάκη, Μ. «*Αστρική πυρηνοσύνθεση*». Υπεύθυνη καθηγήτρια κα Βλαστού Ρ., Σεμινάριο Φυσικής, ακαδημαϊκό έτος 2011 - 2012, Σχολή Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, σσ. 12, 29, 31, http://www.google.com.cy/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CB4QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.physics.ntua.gr%2Fpdf_doc_files%2Fseminario_fysikhs_2012%2F2012%2520Georgoulakis%2520Mixalis.pptx&ei=n7xAVJ-ENbsaKSpgvAL&usg=AFQjCNFyRVddYL_JZ0m-OmhdEBlBsYZNHw).

Νόμος του Coulomb: διατυπώθηκε από τον Γάλλο φυσικό Σαρλ Ογκυστέν ντε Κουλόμπ εκ του οποίου έλαβε και το όνομα, αναφέρεται στην ηλεκτροστατική και είναι αυτός που παρέχει το μέτρο της ασκούμενης κάθε φορά δύναμης μεταξύ δύο ηλεκτρικών φορτίων. Μεταξύ φορτισμένων σωματιδίων που βρίσκονται ακίνητα ή σχεδόν ακίνητα, αναπτύσσονται ηλεκτρικές δυνάμεις που προκαλούνται από αυτά και ονομάζονται ηλεκτροστατικές.

Το μέτρο της ηλεκτρικής δύναμης, την οποία ένα σωματίδιο q1 ασκεί σε ένα άλλο q2, είναι ευθέως ανάλογο προς το γινόμενο των φορτίων τους, και αντιστρόφως ανάλογο προς το τετράγωνο της μεταξύ τους απόστασης r.

Η μαθηματική διατύπωση του νόμου του Coulomb είναι η εξής: $F_c = k \frac{|q1 \cdot q2|}{r^2}$

Η διεύθυνση της δύναμης είναι κατά μήκος της ευθείας που ενώνει τα δύο σωματίδια, ενώ με k συμβολίζεται η σταθερά αναλογίας, η οποία ονομάζεται και ηλεκτροστατική σταθερά και ισούται με $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \approx 8.9875 \text{ x } 10^9 \text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$

όπου ϵ_0 είναι μια σταθερά η οποία ονομάζεται απόλυτη διηλεκτρική σταθερά του κενού και έχει τιμή στο S.I. : $\epsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}\ C^2 \cdot N^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$

Η ηλεκτροστατική δύναμη μεταξύ φορτίων με το ίδιο πρόσημο είναι απωστική, ενώ μεταξύ φορτίων με αντίθετο πρόσημο είναι ελκτική.

Ανεξάρτητα από το πόσο είναι το φορτίο ή η μάζα καθενός από τα q1 και q2, το μέτρο της δύναμης που ασκεί το πρώτο στο δεύτερο και το μέτρο της δύναμης που ασκεί το δεύτερο στο πρώτο είναι ίσα.

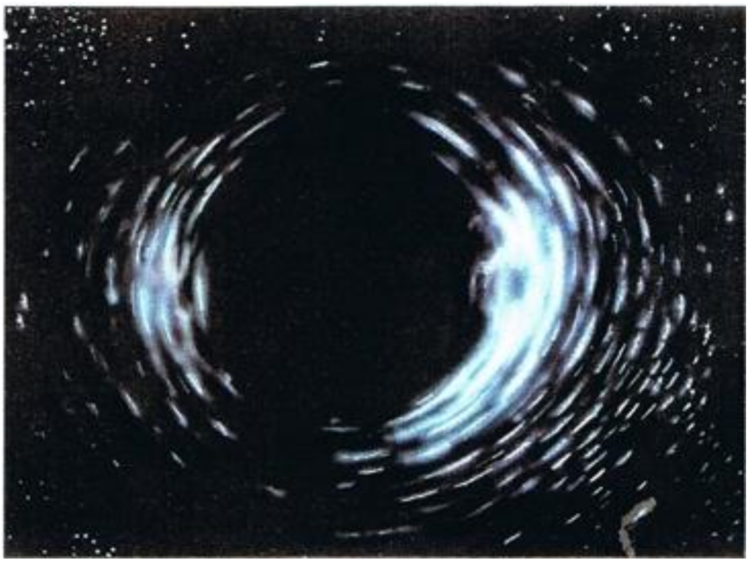
Σύμφωνα με την αρχή της επαλληλίας, όταν τα φορτισμένα σωματίδια είναι παραπάνω από δύο, η ολική δύναμη που δέχεται ένα σωματίδιο είναι το διανυσματικό άθροισμα των δυνάμεων που θα του ασκούσε καθένα από τα υπόλοιπα φορτία ξεχωριστά.

Σημείωση: Η αρχή της επαλληλίας ή αρχή της υπέρθεσης είναι μια πολύ βασική αρχή στην φυσική και τη θεωρία συστημάτων. Σύμφωνα με αυτήν, για κάθε γραμμικό σύστημα το ολικό αποτέλεσμα ενός φαινομένου που αποτελείται από επί μέρους φαινόμενα, είναι ίσο με το άθροισμα των αποτελεσμάτων των επί μέρους.

(γ) Μελανές οπές

Τέλος, στους αστέρες μεγάλης μάζας - πάνω από 20 ηλιακές μάζες - η πίεση του νετρονικού νέφους δεν είναι ικανή να ανακόψει τη βαρυτική κατάρρευση του πυρήνα τους. Οι αστέρες αυτοί, αφού περάσουν από το στάδιο του υπεργίγαντα, μετά την έκρηξη υπερκαινοφανούς καταλήγουν σε **μελανές οπές (μαύρες τρύπες).**

Πρόκειται για αντικείμενα των οποίων η πυκνότητα θεωρητικά τείνει στο άπειρο και οι γνωστές υλικές δομές καταστρέφονται. Οι μαύρες τρύπες είναι μια αινιγματική κατάσταση του χώρου και του χρόνου. Το βαρυτικό πεδίο κοντά σε αυτές είναι τόσο ισχυρό, ώστε δεν μπορεί να διαφύγει ούτε το φως[13]. Για το λόγο αυτό οι μελανές οπές δεν είναι άμεσα ορατές (βλέπε εικ. 5.9) μόνο στα πλαίσια της Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας του Αϊνστάιν είναι δυνατή η ακριβής θεωρητική περιγραφή των αντικειμένων αυτών και των ιδιοτήτων τους.



Εικόνα 5.9: Μαύρη Τρύπα

Οι επιστήμονες πιστεύουν ότι μια μαύρη τρύπα, από σχετικά κοντινή απόσταση, θα φαινόταν όπως στην εικόνα. Η ακτινοβολία των μακρινών άστρων σχηματίζει ένα φωτεινό στεφάνι, που περιβάλλει την τρύπα και οφείλεται στο ισχυρό βαρυτικό πεδίο της.

Αν μπορούσαμε να παρατηρήσουμε από μακριά μια μαύρη τρύπα, θα φαινόταν ίσως σαν μια σφαίρα με διάμετρο μερικών χιλιομέτρων. Αν όμως μπαίναμε στο εσωτερικό της, θα μας φαινόταν αχανής σαν το σύμπαν.

---

13. Μαύρη τρύπα (ή μελανή οπή, αγγλικά: black hole) ονομάζεται το σημείο του χωροχρόνου, στο οποίο οι βαρυτικές δυνάμεις είναι τόσο μεγάλες, μεγαλύτερες και από την ταχύτητα του φωτός, ώστε τίποτε να μην μπορεί να ξεφεύγει από αυτό, ούτε καν το φως (βλέπε σύγγραμμα του Wald, R. (1984) «*General Relativity*». University of Chicago Press, ISBN: 978-0-226-87033-5, pp. 298 - 299)

Το καθοριστικό χαρακτηριστικό μιας μαύρης τρύπας είναι η εμφάνιση ενός ορίζοντα γεγονότων σε ένα όριο στο χωροχρόνο μέσα από το οποίο η ύλη και το φως μπορούν να περάσουν μόνο προς τα μέσα για τη μάζα της μαύρης τρύπας. Τίποτα, ούτε καν το φως, δεν μπορεί να δραπετεύσει από το εσωτερικό του ορίζοντα γεγονότων. Ο ορίζοντας των γεγονότων αναφέρεται ως τέτοιος, διότι αν κάτι συμβεί εντός των ορίων του, οι πληροφορίες από αυτό το γεγονός δεν μπορούν να φτάσουν σε ένα εξωτερικό παρατηρητή, καθιστώντας αδύνατο να προσδιοριστεί αν κάτι τέτοιο συνέβη[14].

Τώρα, όσον αφορά τις πληροφορίες, προκύπτει το εξής παράδοξο που ανακάλυψε ο Χόκινγκ, το λεγόμενο «παράδοξο της πληροφορίας». Σύμφωνα με τον Χόκινγκ, οι μαύρες τρύπες έχουν θερμότητα και παράγουν θερμική ακτινοβολία (γνωστή πλέον ως «ακτινοβολία Χόκινγκ»). Επειδή όλα τα θερμά αντικείμενα στη φύση σταδιακά χάνουν αυτή τη θερμότητα στο διάστημα (λόγω της εντροπίας), η ύστατη μοίρα μιας μαύρης τρύπας θεωρητικά θα είναι η εξάτμισή της. Όμως, σύμφωνα με την κβαντομηχανική, οι πληροφορίες ποτέ δεν χάνονται, οπότε δεν ξέρουμε τι συμβαίνει με τις πληροφορίες που περιέχονται σε ένα αντικείμενο, όταν αυτό απορροφάται βαρυτικά από μια μαύρη τρύπα και πιο συγκεκριμένα οι πληροφορίες από αυτό το αντικείμενο δεν ξέρουμε αν μπορούν να ανακτηθούν κάποτε, όταν η ίδια η μαύρη τρύπα στην συνέχεια εξαφανιστεί. Αυτό είναι κάτι που στο μέλλον μένει να διερευνηθεί.

---

14. Για περισσότερες πληροφορίες βλέπε σύγγραμμα του Wheeler, C. (2007) «*Cosmic Catastrophes»*. Second Edition, Cambridge University Press, ISBN: 0-521-85714-7, pp. 179 – 180, 200.

5.6 Ο κύκλος της δημιουργίας

Ο θάνατος των αστέρων παίζει έναν εξαιρετικά σημαντικό ρόλο στον κύκλο ζωής των γαλαξιών αλλά και γενικότερα του Σύμπαντος, όπως θα δούμε στη συνέχεια στο Κεφάλαιο 7.

Κατά την έκρηξη των υπερκαινοφανών αστέρων, τα χημικά στοιχεία που είχαν σχηματιστεί από τις θερμοπυρηνικές αντιδράσεις στον πυρήνα τους εκτοξεύονται στο διάστημα. Εμπλουτίζεται έτσι η μεσοαστρική ύλη με άτομα χημικών στοιχείων κάθε είδους. Από την εμπλουτισμένη μεσοαστρική ύλη δημιουργούνται νέοι αστέρες και πλανητικά συστήματα που έχουν πιο σύνθετη χημική σύσταση από τα παλαιότερα. Τα χημικά στοιχεία που συναντάμε σήμερα στη Γη γεννήθηκαν στον πυρήνα κάποιου αστέρα που εξερράγη πριν από δισεκατομμύρια χρόνια.

Οι νεότεροι αστέρες στους οποίους ανήκει και ο Ήλιος, όπως αναφέρθηκε και στο Κεφάλαιο 4, έχουν σχηματιστεί από εμπλουτισμένη με βαρύτερα στοιχεία μεσοαστρική ύλη (πληθυσμός αστέρων τύπου Ι). Αντίθετα, οι παλαιότεροι αστέρες, που πρώτοι δημιουργήθηκαν στο Γαλαξία μας, αποτελούνται σχεδόν αποκλειστικά από υδρογόνο και ήλιο (πληθυσμός αστέρων τύπου ΙΙ). Οι δύο πληθυσμοί αστέρων απαντώνται σε διαφορετικές περιοχές του Γαλαξία.

Παραπομπές (References)

2. Γαβρίλης, Κ. κ.ά. (2000) *Στοιχεία Αστρονομίας & Διαστημικής*. Β΄ Ενιαίου Λυκείου, Έκδοση Β΄, Ο.Ε.Δ.Β., Αθήνα, σ. 97.

5. Αντωνοπούλου, Ε. - *Αστρικές Ατμόσφαιρες - Εσωτερικό Αστέρων*. Πανεπιστήμιο Αθηνών, σ. 10, users.uoa.gr/~eantonop/Astro-I.pdf

5. *Πως μετράμε την πολύ υψηλή θερμοκρασία που επικρατεί στην κατάσταση πλάσματος;* Physics4u, Σεπτέμβριος 2003, http://www.physics4u.gr/faq/temperatureplasma.html

5. Λιόλιος, Α. - *Το άτομο και η δομή του - Ανακάλυψη του πυρήνα.* http://skiathos.physics.auth.gr/atlas/Nuclear_Physics/2014/T2/Liolios/LIO-3_Scattering_Rutherford_etc.pdf

8. Παπαδάκης, Ι. – *Πόσο "μεγάλα" είναι τα αστέρια;* Διάλεξη 3η του μαθήματος Αστροφυσική Ι, Πανεπιστήμιο Κρήτης, σ. 1, http://ph230.edu.physics.uoc.gr/files/astro-lecture3.pdf

9. Γαβρίλης, Κ., κ.ά. (2000) *Στοιχεία Αστρονομίας & Διαστημικής*. Β΄ Ενιαίου Λυκείου, Έκδοση Β΄, Ο.Ε.Δ.Β., Αθήνα, σσ. 103 - 104

11. Γαβρίλης, Κ., κ.ά. (2000) *Στοιχεία Αστρονομίας & Διαστημικής*. Β΄ Ενιαίου Λυκείου, Έκδοση Β΄, Ο.Ε.Δ.Β., Αθήνα, σ. 96

12. Γεωργουλάκης, Μ. – *Αστρική πυρηνοσύνθεση*. Υπεύθυνη καθηγήτρια κα Βλαστού Ρ., Σεμινάριο Φυσικής, ακαδημαϊκό έτος 2011 - 2012, Σχολή Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, σσ. 12, 29, 31, http://www.google.com.cy/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CB4QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.physics.ntua.gr%2Fpdf_doc_files%2Fseminario_fysikhs_2012%2F2012%2520Georgoulakis%2520Mixalis.pptx&ei=n7xAVJ-ENbsaKSpgvAL&usg=AFQjCNFyRVddYL_JZ0m-OmhdEBlBsYZNHw

13. Wald, R. (1984) *General Relativity*. University of Chicago Press. ISBN: 978 – 0 – 226 – 87033 – 5, pp. 298 - 299)

14. Wheeler, C. (2007) *Cosmic Catastrophes*. Second Edition, Cambridge University Press. ISBN: 0 – 521 – 85714 - 7, pp. 179 – 180, 200.

ΠΗΓΕΣ ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5:

Αλεξόπουλος, Κ., Μαρίνος, Δ. (1978) *Φυσική: Οπτική - Ηλεκτρομαγνητισμός - Ατομική και Πυρηνική Φυσική.* Τόμος δεύτερος, έκδοση πρώτη, Αθήναι, σ. 402.

Γαβρίλης, Κ., κ.ά. *(2000) Στοιχεία Αστρονομίας & Διαστημικής.* Β΄ Ενιαίου Λυκείου, Έκδοση Β΄, Ο.Ε.Δ.Β., Αθήνα, σσ. 74, 95 - 97, 183 - 184.

Naftilan, S., Stetson, P. (1999) *How do scientists determine the ages of stars? Is the technique really accurate enough to use it to verify the age of the universe?* Scientific American Magazine,
https://www.scientificamerican.com/article/how-do-scientists-determi/

Stellar age estimation. From Wikipedia, 24 November 2014,
https://en.wikipedia.org/wiki/Stellar_age_estimation

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6:
Η ΓΗ ΣΤΟ ΔΙΑΣΤΗΜΑ –
ΤΟ ΗΛΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

«Όπως είναι τα πράγματα επάνω, στον ουρανό, έτσι είναι και εδώ κάτω, στην Γη»
Ερμής ο Τρισμέγιστος

Η Γη είναι ένας από τους μικρότερους πλανήτες, συνολικά οκτώ, ενός ασήμαντου σε αστρική κλίμακα αστεριού, του Ήλιου. Το Ηλιακό μας σύστημα περιλαμβάνει τον Ήλιο και τους πλανήτες του μαζί με τους δορυφόρους τους (συνολικά 184) καθώς επίσης κι ένα μεγάλο αριθμό από άλλα μικρότερης σημασίας ουράνια σώματα (κομήτες, αστεροειδείς, μετεωρίτες) και βρίσκεται προς το άκρο περίπου του Γαλαξία μας (στην περιοχή αυτή η περιφορά των αστέρων γύρω από το γαλαξιακό κέντρο διαρκεί 225 εκατομμύρια χρόνια). Ο τελευταίος αποτελείται από άπειρα αστέρια (10^{11}) αντίστοιχα με το δικό μας Ήλιο που είναι αναπτυγμένα σε μια σπειροειδή διάταξη.

Ο Γαλαξίας μας είναι ένας από τους άπειρους αντίστοιχους (10^{11}) που υπάρχουν στο Σύμπαν και που κινούνται μόνοι τους ή σε ομάδες.

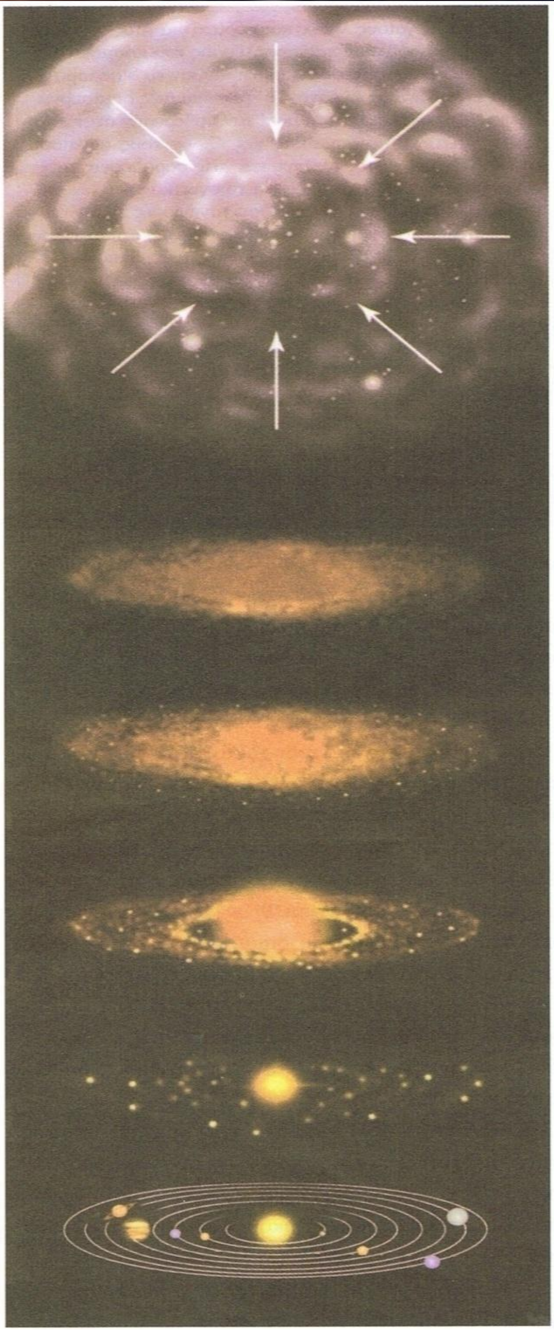
Από τα παραπάνω είναι σαφές ότι η Γη αποτελεί **ένα απειροελάχιστο μόριο του Σύμπαντος.**

6.1 Πώς σχηματίστηκε η Γη

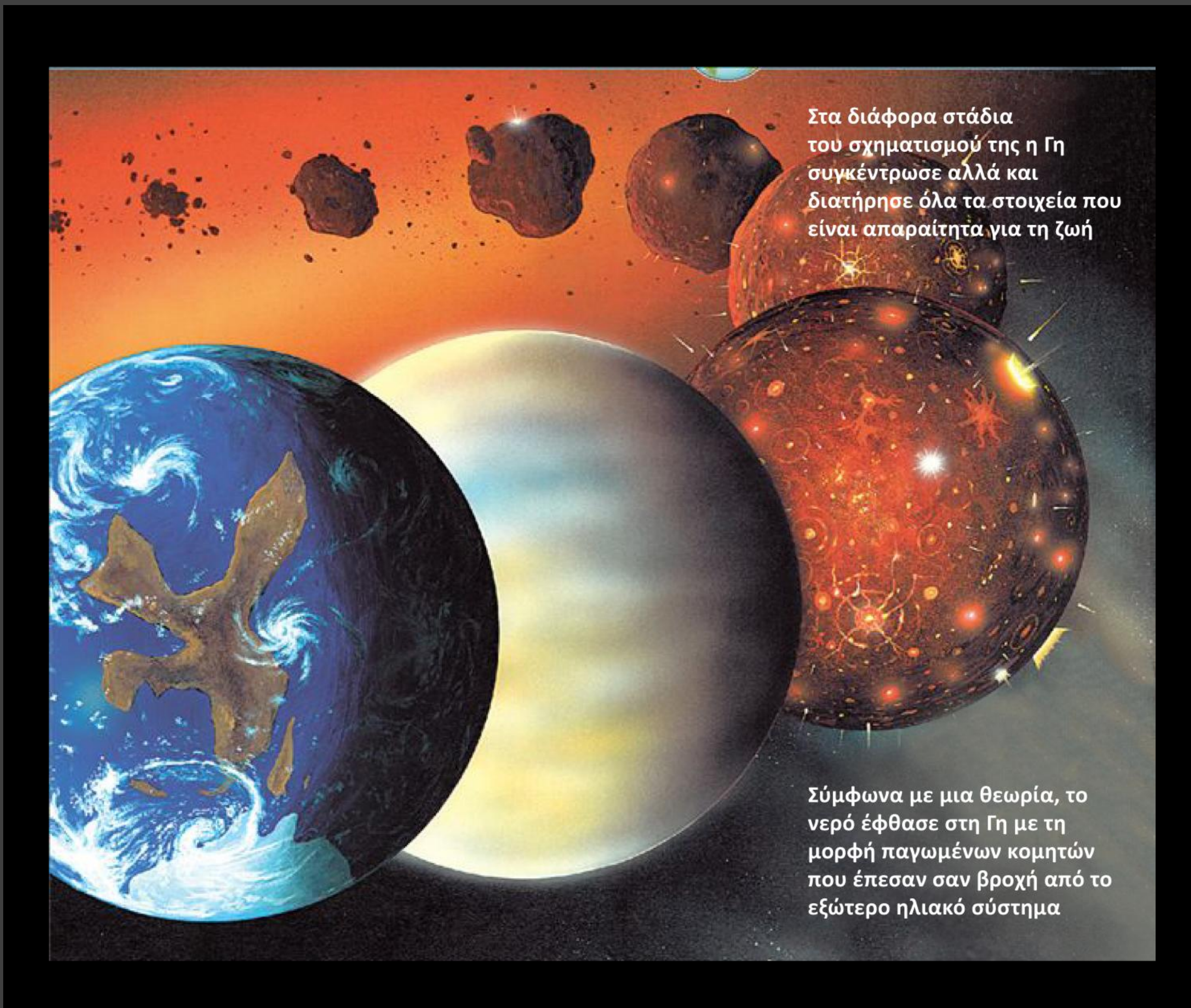
Ο σχηματισμός της Γης συνδέεται με την προέλευση ολόκληρου του ηλιακού μας συστήματος.

Το ηλιακό σύστημα δημιουργήθηκε από ένα εκτεταμένο κοσμικό νέφος από σκόνη και αέρια. Η θεωρία αυτή είναι γνωστή ως **νεφελική συμπύκνωση.** Σύμφωνα με τη θεωρία αυτή το αρχικό νέφος συμπυκνώθηκε και συρρικνώθηκε με αργό ρυθμό κάτω από την επίδραση της βαρύτητάς του, ενώ ταυτόχρονα άρχισε να περιστρέφεται. Το αποτέλεσμα της περιστροφής και της βαρυτικής κατάρρευσης ήταν το νέφος να αποκτήσει τη μορφή ενός πεπλατυσμένου δίσκου. Στο κέντρο του δίσκου σχηματίστηκε ένας πρωτοαστέρας από τον οποίο προήλθε ο Ήλιος. Στα εξωτερικά στρώματα του δίσκου δημιουργήθηκαν περιοχές με πιο συμπυκνωμένη ύλη από τις οποίες σχηματίστηκαν οι πρωτοπλανήτες και τελικά οι πλανήτες (βλέπε σχ. 6.1). Με ανάλογο τρόπο σχηματίστηκαν και οι δορυφόροι των πλανητών (π.χ. σύστημα πλανήτη – δορυφόρου: Γη – Σελήνη). Τα κομμάτια που απέμειναν αποτέλεσαν τους αστεροειδείς και τους κομήτες.

Όλη αυτή η διαδικασία έγινε σε συνθήκες σχετικά χαμηλών θερμοκρασιών. Θερμοπυρηνικές αντιδράσεις παρήγαγαν την ενέργεια για την τεράστια αύξηση θερμοκρασίας που τελικά «άναψε» τον Ήλιο.



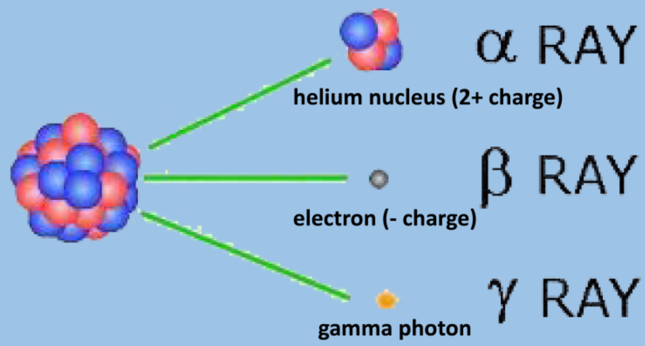
Σχήμα 6.1: Η νεφελική θεωρία για τη δημιουργία του ηλιακού συστήματος: Συμπύκνωση και κατάρρευση των εξωτερικών περιοχών, Συρρίκνωση, Ανάπτυξη φυγόκεντρης δύναμης, Δημιουργία πεπλατυσμένου δίσκου.


Στα διάφορα στάδια
του σχηματισμού της η Γη
συγκέντρωσε αλλά και
διατήρησε όλα τα στοιχεία που
είναι απαραίτητα για τη ζωή
Σύμφωνα με μια θεωρία, το
νερό έφθασε στη Γη με τη
μορφή παγωμένων κομητών
που έπεσαν σαν βροχή από το
εξώτερο ηλιακό σύστημα

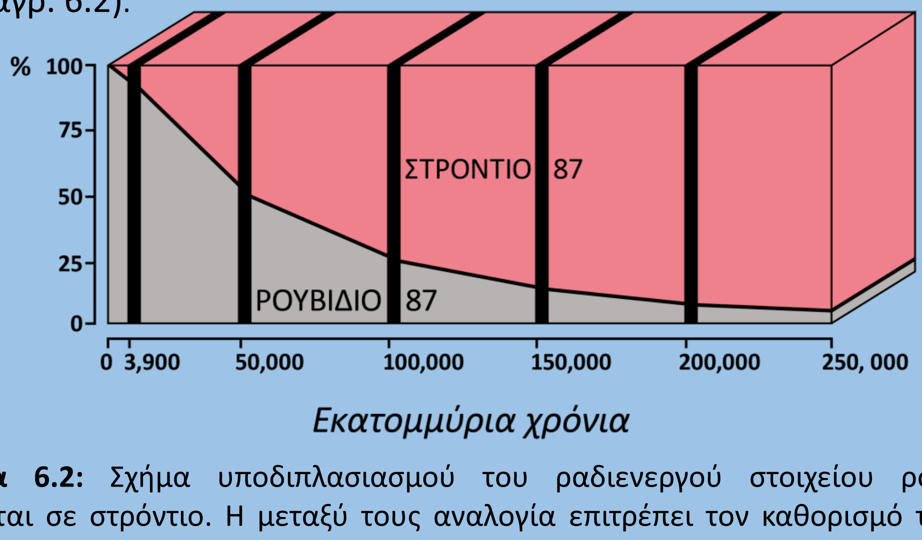
(α) Η ηλικία της Γης

Οι γεωλογικές μελέτες έχουν δείξει ότι η Γη είναι πάρα πολύ παλιά. Η ηλικία σχηματισμού της εκτιμάται κάπου ανάμεσα στα 4 και 5 δισεκατομμύρια χρόνια. Η πιο πάνω εκτίμηση δεν αποτελεί κάποια αυθαίρετη σύλληψη, αλλά βασίζεται στον υπολογισμό της ηλικίας των πετρωμάτων. Αυτό, πετυχαίνεται με την μέθοδο της **ραδιοχρονολόγησης**, που στηρίζεται στον προσδιορισμό του λόγου των ποσοτήτων ενός ζεύγους στοιχείων που υπάρχουν σ' ένα ορυκτό του πετρώματος, από τα οποία το ένα προκύπτει από το άλλο με μεταστοιχείωση: Ο πυρήνας του ατόμου του ραδιενεργού στοιχείου που είναι ασταθής[1] μπορεί να διασπαστεί αυθόρμητα. Εκπέμποντας ακτίνες α ή β μεταστοιχειώνεται, δηλαδή υφίσταται αλλαγή στον ατομικό του αριθμό, οπότε ο πυρήνας που εξέπεμψε το σωματίδιο άλφα ($^{4}_{2}$He) ή βήτα (e^{-+}), μετατρέπεται σε πυρήνα κάποιου άλλου χημικού στοιχείου, σταθερότερου.

Ραδιενέργεια ενός υλικού είναι το φυσικό μέγεθος που χαρακτηρίζει το ρυθμό διάσπασης των ασταθών πυρήνων του.



Γνωρίζοντας το **χρόνο υποδιπλασιασμού** των ραδιενεργών στοιχείων, δηλαδή το χρόνο που απαιτείται για τη μείωση της αρχικής ποσότητας του ραδιενεργού στοιχείου στο μισό, είμαστε σε θέση να χρονολογήσουμε αριθμητικά το πέτρωμα (βλεπε διάγρ. 6.2).



Διάγραμμα 6.2: Σχήμα υποδιπλασιασμού του ραδιενεργού στοιχείου ρουβίδιο που μετατρέπεται σε στρόντιο. Η μεταξύ τους αναλογία επιτρέπει τον καθορισμό της απόλυτης ηλικίας του πετρώματος που τα περιέχει.

---

1. Ο πυρήνας ενός ατόμου είναι σταθερός αν ο συνδυασμός του αριθμού πρωτονίων και νετρονίων είναι αποδεκτός από τη φύση, ενώ αντίθετα είναι ασταθής αν ο συνδυασμός αυτός είναι απαγορευμένος. Στη φύση υπάρχουν ασταθείς πυρήνες ατόμων ενώ ορισμένοι από αυτούς παράγονται τεχνητά (βλέπε εργασία της Κάτση, Α. (2007) «*Μελέτη επιπέδου φυσικής ραδιενέργειας από γ ακτινοβολία, στην περιοχή Ακρωτηρίου του Νομού Χανίων*». MSc, σ. 8, dias.library.tuc.gr/view/manf/26697).

6.2 Το σύστημα Γη – Σελήνη



Το σύστημα Γη - Σελήνη, ως ένα δυναμικό σύστημα που κινείται γύρω από τον Ήλιο, κάτω από την επίδραση δυνάμεων της βαρύτητας, παρουσίαζε και εξακολουθεί να παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον. Φαινόμενα όπως οι φάσεις της Σελήνης, οι εκλείψεις, οι παλίρροιες κ.ά. οφείλονται σε αυτό ακριβώς το σύστημα. Η μελέτη της Γης και της Σελήνης μας επιτρέπει να κατανοήσουμε καλύτερα τα φαινόμενα του ουρανού.

(α) Χαρακτηριστικά της Γης

Το όνομα Γη προέρχεται από το αρχαϊκό Γαία και έλκει την καταγωγή του από τους μύθους των αρχαίων Ελλήνων για την καταγωγή του κόσμου (βλέπε Θεογονία Ησίοδου).

Η Γη είναι ο τρίτος στη σειρά πλανήτης του ηλιακού μας συστήματος και ο πέμπτος σε μέγεθος. Η μέση απόστασή της από τον Ήλιο είναι 1 A.U. = 149.600.000 Km (Αστρονομική μονάδα). Κινείται, αφού συμμετέχει στην κίνηση του ηλιακού μας συστήματος προς την αστερισμό του Ηρακλή, καθώς και στην κίνηση του Γαλαξία μας προς τον αστερισμό του Λέοντος. Επίσης, περιφέρεται γύρω από τον Ήλιο σε ελλειπτική τροχιά και συμπληρώνει μια πλήρη περιφορά σε 365,256 ημέρες (ένα έτος). Τέλος, περιστρέφεται γύρω από τον άξονά της και συμπληρώνει μια περιστροφή σε 23,93 ώρες. Το σχήμα της δεν είναι σφαιρικό. Εξαιτίας της περιστροφής γύρω από τον άξονά της, έχει σχήμα πεπλατυσμένο στους πόλους και εξογκωμένο στον ισημερινό.

Ένα σημαντικό φυσικό χαρακτηριστικό της Γης είναι ότι διαθέτει ατμόσφαιρα που αποτελείται κυρίως από άζωτο και οξυγόνο, σε αναλογία 78% άζωτο και 21% οξυγόνο. Το υπόλοιπο 1% αποτελείται από διάφορα άλλα αέρια. Η ατμόσφαιρα χωρίζεται σε ζώνες που έχουν διαφορετικές ιδιότητες μεταξύ τους. Τα φαινόμενα που παρατηρούνται σε κάθε ζώνη, α) τροπόσφαιρα (ζώνη καιρικών φαινομένων - μέχρι 15 Km ύψος), β) στρατόσφαιρα (μέχρι 40 έως 50 Km), γ) μεσόσφαιρα (μεταξύ 50 και 80 Km), δ) ιονόσφαιρα (μετά τα 80 Km), εξαρτώνται από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της, δηλαδή τη θερμοκρασία, την πυκνότητα, την πίεση και τη χημική της σύσταση.

Σε αυτή ακριβώς την ατμόσφαιρα και στην παρουσία της ζώνης του όζοντος, οφείλεται το φαινόμενο της ζωής όπως το γνωρίζουμε σήμερα.

Ζώνη του όζοντος: Οι συνθήκες που επικρατούν στο τμήμα της ατμόσφαιρας μεταξύ στρατόσφαιρας και μεσόσφαιρας είναι κατάλληλες για το σχηματισμό του όζοντος (O_3). Το Όζον μπορεί να παραχθεί από ξηρό O_2 ή ατμοσφαιρικό αέρα που οδηγείται προς περιοχή όπου λαμβάνουν χώρα ηλεκτρικές εκκενώσεις, τάσης 5.000 - 20.000 Βολτ. Η περιοχή αυτή που ονομάζεται οζονόσφαιρα θεωρείται σημαντική για τη ζωή στον πλανήτη μας, καθώς δεν επιτρέπει να εισέλθουν στην ατμόσφαιρα η θανατηφόρες για τον άνθρωπο και τα ζώα υπεριώδεις ακτινοβολίες.

Η Γη έχει μαγνητικό πεδίο, το οποίο οφείλεται στο ρευστό εξωτερικό πυρήνα που αποτελείται κυρίως από σίδηρο, και είναι υπεύθυνο για μια σειρά φαινομένων, όπως το πολικό σέλας το οποίο παρατηρείται κυρίως στους πόλους της (βλ. εικ. 6.3). Ο εξωτερικός πυρήνας προκαλεί το γήινο μαγνητικό πεδίο, λόγω της θερμικής μεταφοράς του ηλεκτρικά αγώγιμου υλικού του.

Κάποια από τα φυσικά χαρακτηριστικά της φαίνονται στον πίνακα 6.4:



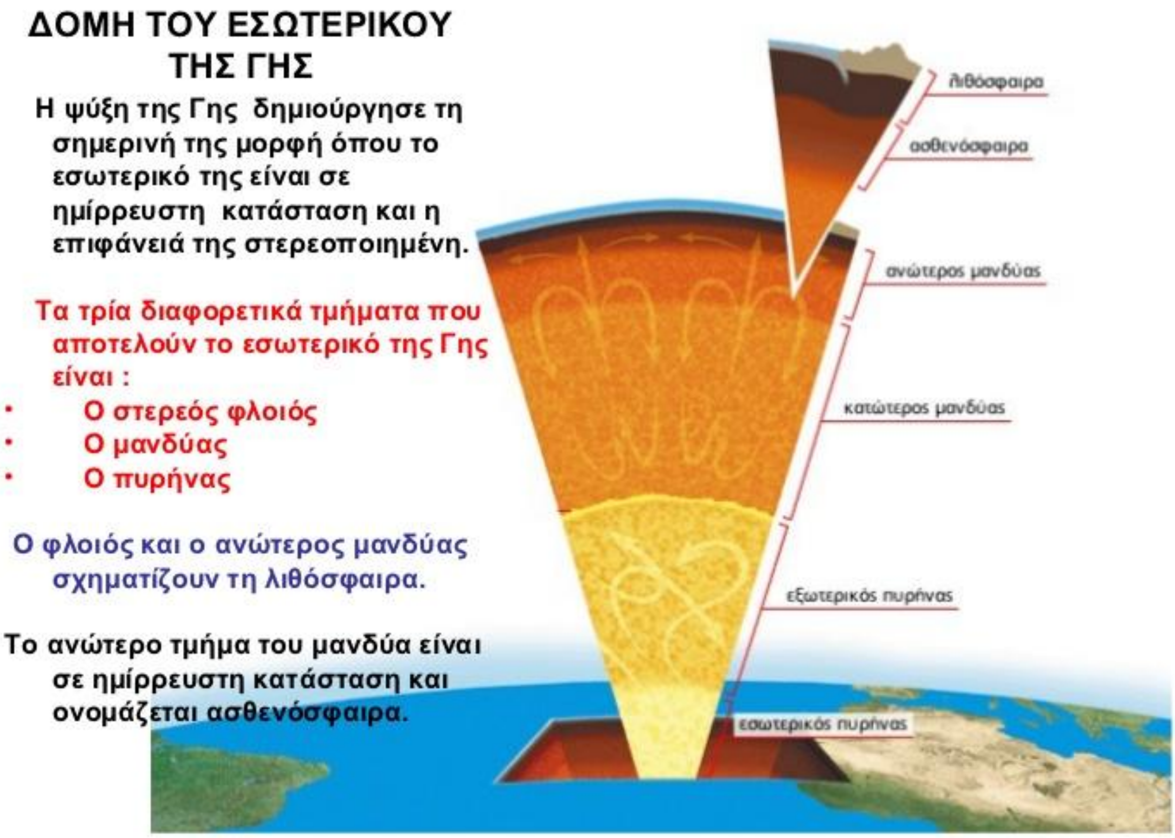
Εικόνα 6.3:
Το πολικό σέλας εμφανίζεται κοντά στους πόλους της Γης. Ρεύματα με φορτισμένα σωμάτια φτάνουν από τον Ήλιο και συγκεντρώνονται στους πόλους, εξαιτίας του μαγνητικού πεδίου της. Εκεί βομβαρδίζουν και διεγείρουν τα άτομα της ατμόσφαιρας, που με τη σειρά τους παράγουν φως.

Πίνακας 6.4: Η Γη	
Ακτίνα	6.378 Km
Μάζα	5,97 x 10^{24} Kg
Πυκνότητα	5.520 Kg/m^3
Ταχύτητα διαφυγής	11,2 Km/h
Επιτάχυνση της βαρύτητας	9,81 m/s^2
Περιστροφή γύρω από τον άξονα	1600 Km/h (σημείο του ισημερινού της)
Περιφορά γύρω από τον Ήλιο	106.000 Km/h
Κίνηση μαζί με το ηλιακό σύστημα προς τον αστερισμό του Ηρακλή	72.360 Km/h
Κίνηση μαζί με το Γαλαξία μας προς τον αστερισμό του Λέοντος	2.160.000 Km/h

Η μέση θερμοκρασία στην επιφάνεια της Γης είναι περίπου 15C°. Η θερμοκρασία όμως στην ατμόσφαιρα αλλάζει όσο αυξάνεται το ύψος από την επιφάνεια της, συγκεκριμένα μέσα στη τροπόσφαιρα ελαττώνεται "καθ΄ ύψος" κατά 0,64° C / 100 m.

Τα χημικά στοιχεία από τα οποία αποτελείται είναι πολλά. Τα σημαντικότερα είναι ο σίδηρος σε ποσοστό 40%, το οξυγόνο σε ποσοστό 28%, το πυρίτιο σε ποσοστό 14,5% και το μαγνήσιο σε ποσοστό 8,7%.

Τέλος, η δομή του εσωτερικού της αποτελείται από τρία μέρη, το φλοιό, το μανδύα και τον πυρήνα. Ο πυρήνας χωρίζεται σε δύο μέρη: Στον εξωτερικό που βρίσκεται σε ρευστή κατάσταση και στον εσωτερικό (βλεπε σχ. 6.5).



Σχήμα 6.5

Αν και η Γη αποτελεί όπως είδαμε ένα απειροελάχιστο μόριο του Σύμπαντος, δεν παύει να φιλοξενεί ένα ον με συνείδηση (τον άνθρωπο), ίσως το μοναδικό στο Σύμπαν.

(β) Χαρακτηριστικά της Σελήνης

Η Σελήνη είναι ο μοναδικός φυσικός δορυφόρος της Γης. Ανέκαθεν αντιπροσώπευε το άπιαστο όνειρο των ανθρώπων, για ένα ταξίδι σε αυτή. Ο Ιούλιος Βέρν, πρώτος είχε την ιδέα να την «επισκεφτεί» με το μυθιστόρημα του «Από τη Γη στη Σελήνη» μέχρι που η NASA, τον Ιούλιο του 1969 με το πρόγραμμα Απόλλων πέτυχε να κάνει αυτό το ταξίδι πραγματικότητα.

Η Σελήνη κατέχει σημαντική θέση στους μύθους και στις παραδόσεις της αρχαίας Ελλάδας. Η ετυμολογία του ονόματός της προκύπτει από το συνθετικό σέλας, που σημαίνει λαμπρό φως και από το συνθετικό μην, που δείχνει τις περιοδικές της φάσεις. Ο Όμηρος την ονομάζει «κόρη του βασιλέως Πάλλαντος, υιού του Μεγαμήδους». Οι ποικίλες σχέσεις της με τη Γη και τον Ήλιο και οι πολλές μεταμορφώσεις της, από ωχρό δρεπάνι σε ολόφωτη πανσέληνο, έδωσε στους αρχαίους λαούς υλικό για μύθους και περιπέτειες. Οι αρχαίοι Έλληνες ονόμαζαν τη Δευτέρα ημέρα της Σελήνης προς τιμή της.

Οι βασικές κινήσεις της είναι δύο. Κινείται γύρω από τη Γη σε ελλειπτική τροχιά και συμπληρώνει μια περιφορά γύρω από αυτή σε 29,53 ημέρες. Ο χρόνος αυτός ονομάζεται **συνοδικός μήνας**. Επίσης περιστρέφεται γύρω από τον άξονά της και συμπληρώνει μια περιστροφή σε 27,3 ημέρες. Ο χρόνος αυτός ονομάζεται **αστρικός μήνας**. Το αποτέλεσμα των δύο αυτών κινήσεων είναι η σελήνη να δείχνει σε μας πάντοτε την ίδια πλευρά. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **σύγχρονη περιστροφή** της σελήνης και οφείλεται στην εξίσωση των χρόνων της περιφοράς της γύρω από τη Γη και της περιστροφής της γύρω από τον άξονά της. Η αόρατη πλευρά της Σελήνης φωτογραφήθηκε για πρώτη φορά το 1959 από το Σοβιετικό δορυφόρο Lunik 3.

Η έλλειψη ατμόσφαιρας σ’ αυτήν επέτρεψε στους αστρονόμους να κάνουν «καθαρές» παρατηρήσεις και να προσδιορίσουν έτσι τη μορφολογία του εδάφους της με αρκετή ακρίβεια. Με γυμνό μάτι και όταν έχουμε πανσέληνο, παρατηρούμε στο δίσκο της Σελήνης φωτεινές και λιγότερο φωτεινές περιοχές. Οι τελευταίες ονομάστηκαν από το Γαλιλαίο, που πρώτος παρατήρησε τη Σελήνη με τηλεσκόπιο το 1610, «θάλασσες». Όπως αποδείχτηκε, οι «θάλασσες» είναι επίπεδες περιοχές, όπως οι γήινες πεδιάδες. Ακόμα στην επιφάνειά της μπορεί κανείς να παρατηρήσει όρη και κρατήρες. Το έδαφος καλύπτεται από σκόνη, που εικάζεται ότι έχει δημιουργηθεί με τον ίδιο τρόπο που δημιουργήθηκαν και οι κρατήρες, δηλαδή από την πρόσκρουση μετεωριτών στο έδαφος της.

Στο υπέδαφός της διαπιστώθηκε ότι υπάρχει αρκετό νερό σε μορφή κρυστάλλων ενωμένων με άλλα στοιχεία.

Η δομή της είναι παρόμοια με αυτή της Γης, αν εξαιρέσουμε την έλλειψη ατμόσφαιρας. Αποτελείται από τον πυρήνα, τον μανδύα και το φλοιό, με τη διαφορά ότι ο φλοιός παρουσιάζει την εξής ιδιομορφία: Το πάχος του στην πλευρά που είναι στραμμένη προς τη Γη είναι 60 km, ενώ στην αντίθετη πλευρά είναι 160 km.

Η Σελήνη, όπως και όλα τα άλλα μέλη του ηλιακού συστήματος, είναι ετερόφωτο σώμα, και το φως που εκπέμπει είναι του Ήλιου, που ανακλάται στην επιφάνειά της. Όμως στη διάρκεια της περιφοράς της γύρω από τη Γη, παρουσιάζεται στο Γήινο παρατηρητή σε διάφορες φάσεις: πανσέληνος, πρώτο τέταρτο, τελευταίο τέταρτο και νέα Σελήνη (χάνεται τελείως ο δίσκος της). Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στη σχετική θέση που έχουν κάθε φορά ο Ήλιος, η Σελήνη και η Γη. Η Σελήνη για να περάσει απ΄όλες τις φάσεις της χρειάζεται ένα συνοδικό μήνα.

Τα φυσικά χαρακτηριστικά της Σελήνης φαίνονται στον πιο κάτω πίνακα 6.6:

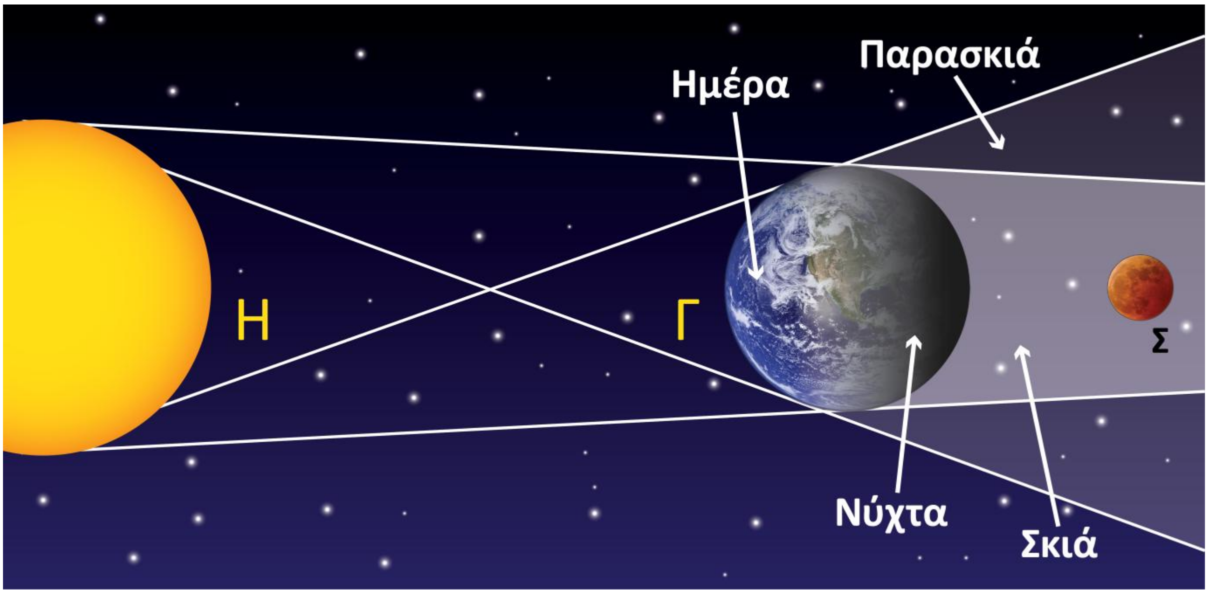
Πίνακας 6.6: Η Σελήνη	
Διάμετρος	3.476 Km
Μάζα (γήινες μονάδες)	1/81
Μέση πυκνότητα	3,34 gr/cm^3
Ταχύτητα διαφυγής	2,38 Km/s
Επιτάχυνση της βαρύτητας	1,63 m/s^2
Μέση θερμοκρασία ημέρας	107 C
Μέση θερμοκρασία νύχτας	-153 C
Μέση ταχύτητα περιφοράς γύρω από τη Γη	1,03 Km/h
Μέση απόσταση από τη Γη	384.400 Km
Χρόνοι περιφοράς γύρω από τη Γη (ημέρες)	29,530589

(γ) Οι Εκλείψεις του Ήλιου και της Σελήνης

Ένα άλλο φαινόμενο που οφείλεται στις σχετικές θέσεις του Ήλιου, της Γης και της Σελήνης είναι οι εκλείψεις. Έχουμε δύο ειδών εκλείψεις:

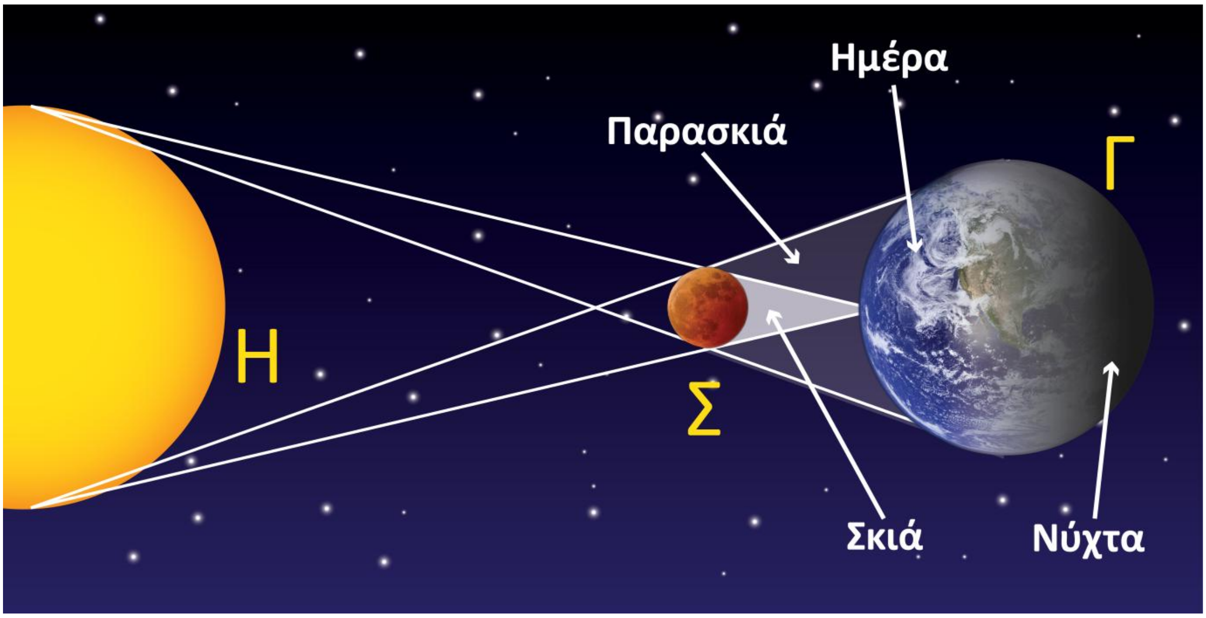
(i) Έκλειψη Σελήνης: Εάν κατά την περιφορά της Σελήνης γύρω από τη Γη, η Σελήνη μπει στον κώνο της σκιάς της Γης (η σκιά της Γης που δημιουργείται όταν φωτίζεται από τον Ήλιο έχει μορφή κώνου) έχουμε έκλειψη Σελήνης, αφού ένα μέρος ή και ολόκληρος ο φωτεινός της δίσκος καλύπτεται από αυτή (βλέπε εικ. 6.7). Ολική έκλειψη Σελήνης έχουμε όταν η Σελήνη μπει ολόκληρη στη σκιά της Γης, αντίθετα όταν η ευθυγράμμιση των τριών ουράνιων σωμάτων δεν είναι πλήρης έχουμε μερική έκλειψη της Σελήνης. Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται όταν η Σελήνη είναι στη φάση της πανσέληνου.

Εικόνα 6.7



(ii) Έκλειψη Ηλίου: Όταν η Σελήνη είναι στη φάση της νέας Σελήνης και μπει ανάμεσα στον Ήλιο και στη Γη έχουμε έκλειψη Ηλίου (βλέπε εικ. 6.8). Στην περίπτωση αυτή οι περιοχές μιας ζώνης (≈300 Km) της Γης καλύπτονται από τη σκιά και την παρασκιά της Σελήνης. Η έκλειψη θα είναι ολική αν καλύπτεται από τον κώνο της σκιάς ή δακτυλοειδής εάν καλύπτεται από την προέκτασή του (πράγμα που εξαρτάται από την απόσταση Γης - Σελήνης την συγκεκριμένη στιγμή). Αντίστοιχα, έχουμε μερική έκλειψη Ηλίου σε μια περιοχή όταν αυτή καλύπτεται από την παρασκιά της Σελήνης.
Κατά την ολική έκλειψη του Ηλίου έχουμε πλήρη συσκότιση της περιοχής, με αποτέλεσμα να εμφανίζονται στον ουρανό ακόμη και οι αστέρες.

Εικόνα 6.8



Για τους αστρονόμους οι εκλείψεις αποτελούν ένα ενδιαφέρον φαινόμενο, διότι πολλά αστρονομικά προβλήματα μπορούν να διερευνηθούν κατά τη διάρκειά τους.

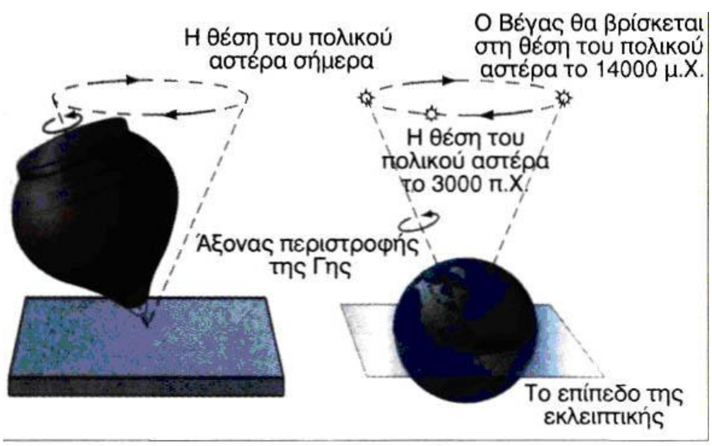
(δ) Παλιρροϊκές δυνάμεις

Ένα όμως από τα πιο μυστηριώδη και εντυπωσιακά φαινόμενα που παρατηρούμε στη Γη και οφείλονται στη βαρυτική έλξη που ασκεί η Σελήνη και ο Ήλιος στους ωκεανούς της Γης, είναι οι παλίρροιες, δηλαδή το φαινόμενο, όπου η στάθμη των νερών στις λίμνες και στις θάλασσες ανεβαίνει (πλημμυρίδα) και κατεβαίνει (άμπωτη) περιοδικά: Η Σελήνη και ο Ήλιος έλκουν ισχυρότερα τους ωκεανούς που βρίσκονται πιο κοντά τους, λιγότερο ισχυρά το κέντρο της Γης και ακόμα λιγότερο τους ωκεανούς της απομακρυσμένης πλευράς. Με αυτόν τον τρόπο, οι ωκεανοί τείνουν να διογκώνονται στην πλησιέστερη πλευρά επειδή το νερό έλκεται περισσότερο και τείνει να απομακρυνθεί από τη Γη. Επίσης, εξογκώνονται και τα νερά που βρίσκονται στην απομακρυσμένη πλευρά της, διότι η Γη έλκεται ισχυρότερα από ότι τα νερά αυτής της πλευράς, και τείνει έτσι να απομακρυνθεί από αυτά.

Η διαφορά στη δύναμη που ασκείται στις δύο αντιδιαμετρικές πλευρές ονομάζεται παλιρροϊκή δύναμη.

Η παραμόρφωση αυτή των ωκεανών μετατοπίζεται περιοδικά λόγω της περιστροφής της Γης γύρω από τον άξονά της. Έτσι αναπτύσσονται δυνάμεις τριβής από τις μετακινούμενες υδάτινες μάζες που τείνουν να επιβραδύνουν την περιστροφή της Γης. Η περίοδος περιστροφής της Γης αυξάνεται κατά 0,002 s ανά αιώνα. Έτσι πριν 450 εκατομμύρια χρόνια η μέρα στη Γη διαρκούσε 22 ώρες, ενώ μετά από 145 δισεκατομμύρια χρόνια αυτή θα διαρκεί 27 ημέρες, όσο δηλαδή και η περιστροφή της Σελήνης.

Ένα ακόμα φαινόμενο που οφείλεται στην έλξη που ασκούν στη Γη, ο Ήλιος και η Σελήνη, είναι **η μετάπτωση και η κλόνηση του άξονα της Γης** (βλέπε σχ. 6.9). Οι δυνάμεις αυτές σε συνδυασμό με το σχήμα της Γης και τη λόξωση της εκλειπτικής, τη γωνία, δηλαδή, που σχηματίζει ο άξονας περιστροφής της Γης με το επίπεδο της εκλειπτικής (23° 27΄), εξαναγκάζουν τον άξονα να περιστρέφεται, όπως ο άξονας μια σβούρας. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται μετάπτωση του άξονα περιστροφής της Γης. Ταυτόχρονα, λόγω της αλλαγής θέσης της Σελήνης σε σχέση με το επίπεδο της τροχιάς της Γης, προκαλείται η περιοδική κλόνηση του άξονα περιστροφής της, η οποία επαναλαμβάνεται κάθε 19 περίπου έτη.



Σχήμα 6.9: Η μετάπτωση και κλόνηση του άξονα περιστροφής της Γης οφείλεται στις παλιρροιογόνες δυνάμεις της Σελήνης και του Ηλίου. Η κίνηση αυτή του άξονα ολοκληρώνει μια περιστροφή σε 25.800 έτη.

Εκλειπτική: Η εκλειπτική είναι το μέσο επίπεδο που διαγράφει ο Ήλιος στην ουράνια σφαίρα, καθώς αυτός αλλάζει θέση στον ουρανό κατά τη διάρκεια ενός έτους, ή πιο σωστά το μέσο επίπεδο κίνησης της Γης γύρω από τον Ήλιο.

Η φαινομενική αυτή περιφορά του Ήλιου γύρω από τη Γη διαγράφει ένα επίπεδο που όταν προεκταθεί τέμνει την ουράνια σφαίρα κατά μέγιστο κύκλο. Ο μέγιστος αυτός κύκλος της ουράνιας σφαίρας ονομάζεται εκλειπτική.

Με διαφορετικά και πιο απλά λόγια, και αν θυμηθούμε ότι η Γη είναι αυτή που κινείται στην πραγματικότητα, η εκλειπτική είναι το επίπεδο πάνω στο οποίο διαγράφεται η τροχιά της Γης γύρω από τον Ήλιο. Το επίπεδο της εκλειπτικής ταυτίζεται σχεδόν με το επίπεδο πάνω στο οποίο διαγράφονται οι τροχιές των περισσότερων πλανητών, καθώς και με τον ισημερινό του Ήλιου. Τούτο συμβαίνει λόγω της κοινής καταγωγής όλων των βασικών σωμάτων του Ηλιακού μας Συστήματος από τον ίδιο πρωτοπλανητικό δίσκο

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι από το σύστημα Γη - Σελήνη ευνοείται η ύπαρξη ζωής στη Γη. Από τήν έλξη που ασκείται η Γη αποκτά τη συγκεκριμένη κλίση που έχει (23,439247°) όσον αφορά τον άξονα περιστροφής της. Αυτό έχει μια ιδιαίτερη επίδραση στις κλιματολογικές συνθήκες του πλανήτη μας, γιατί η ηλιοφάνεια σε συγκεκριμένες περιοχές, με συγκεκριμένη περιοδικότητα, κάνει εφικτό το σενάριο της «ζωής».

Αν η Σελήνη δεν υπήρχε, η κλίση της Γης θα ήταν τέτοια, που οι ακραίες συνθήκες ψύχους και υψηλών θερμοκρασιών θα εναλλάσσονταν απότομα κάνοντας το φαινόμενο της «ζωής» αδύνατο να υπάρξει!

6.3 Πλανήτες
(Γήινοι - Δίιοι και εξωηλιακοί)

Πλανήτης, σύμφωνα με τον σύγχρονο ορισμό της Διεθνούς Αστρονομικής Ένωσης (IAU), ονομάζεται κάθε ουράνιο σώμα που περιφέρεται γύρω από έναν (τουλάχιστον) αστέρα ή αστρικό υπόλειμμα και καλύπτει τις ακόλουθες πρόσθετες προϋποθέσεις:

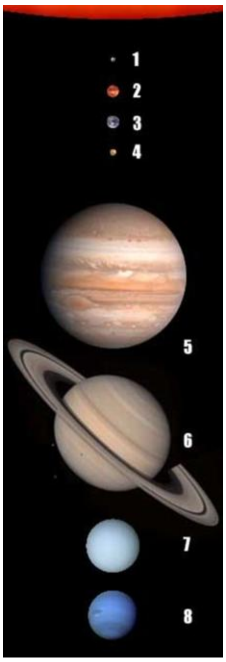
- Έχει αρκετή μάζα ώστε να είναι σφαιρικό με την επίδραση της δικής του βαρύτητας.
- Δεν έχει αρκετή μάζα ώστε να προκληθεί πυρηνική σύντηξη.
- Έχει καθαριστεί η γειτονική του περιοχή από πλανητικά θραύσματα.

Το σώμα που καλύπτει τα πρώτα δύο κριτήρια αλλά όχι αυτό της κυριαρχίας στην τροχιά του, όταν δεν είναι δορυφόρος, λέγεται «πλανήτης νάνος».

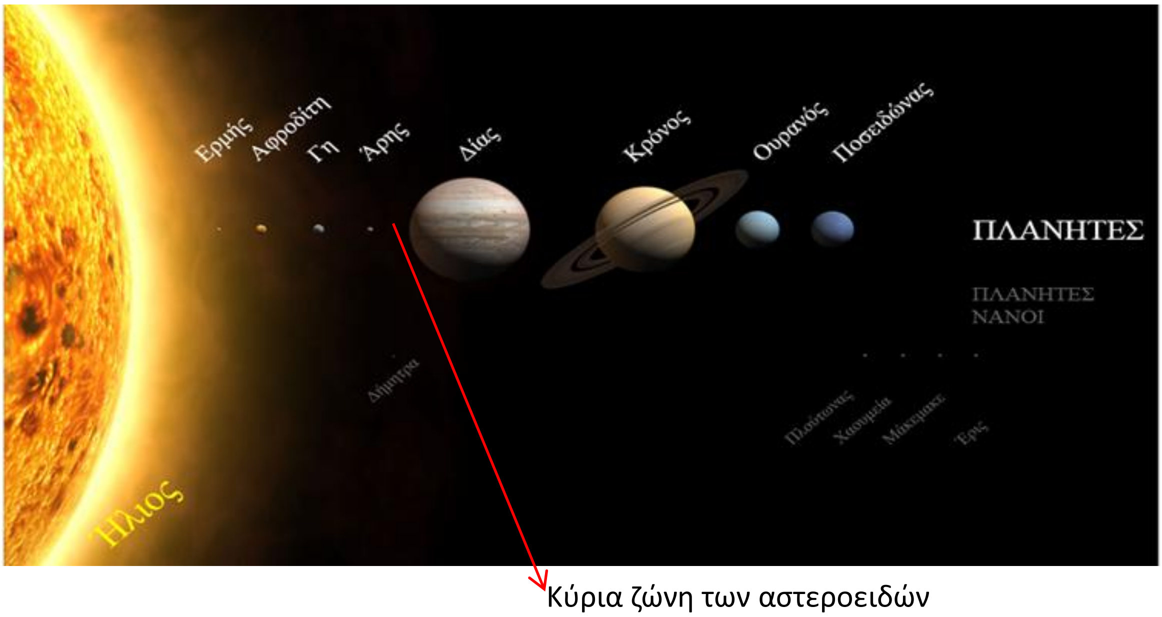
6.3.1 Γήινοι και Δίιοι πλανήτες

Ο Ερμής, η Αφροδίτη, η Γη και ο Άρης ταξινομούνται στους λεγόμενους «Γήινους Πλανήτες», καθώς έχουν παρόμοια σύσταση και μορφολογία με τη Γη (βραχώδεις με συμπαγή πυρήνα). Ο Δίας, ο Κρόνος, ο Ουρανός και ο Ποσειδώνας, ανήκουν στην κατηγορία των «Αέριων Πλανητών» ή «Γιγάντων αερίων». Η σύστασή τους είναι αέρια (Υδρογόνο κυρίως), ενώ όλοι έχουν ένα ή περισσότερους δακτύλιους, οι εντυπωσιακότεροι των οποίων είναι οι δακτύλιοι του Κρόνου (βλέπε εικ. 610 α).

Επίσης άλλη μια κατάταξη των πλανητών είναι ανάλογα με τη θέση τους στο Ηλιακό Σύστημα: διακρίνονται σε εσωτερικούς, που είναι αυτοί που βρίσκονται ανάμεσα στον Ήλιο και την Κύρια ζώνη αστεροειδών, και σε εξωτερικούς, που είναι οι υπόλοιποι (βλέπε εικ. 610 β). Στα επόμενα υποκεφάλαια 6.3.3 και 6.3.4 θα αναπτύξουμε αναλυτικά τους πλανήτες του Ηλιακού μας Συστήματος.



Εικόνα 6.10 α:
Οι πλανήτες του Ηλιακού Συστήματος
1. Ερμής
2. Αφροδίτη
3. Γη
4. Άρης
5. Δίας
6. Κρόνος
7. Ουρανός
8. Ποσειδώνας



Εικόνα 6.10 β:
Οι πλανήτες του Ηλιακού συστήματος κατά σειρά από τον Ήλιο, και με σήμανση των πλανητών νάνων. Οι αποστάσεις δεν είναι υπό κλίμακα.

6.3.2 Πλανήτες εκτός του Ηλιακού Συστήματος

Από το 1995, χρονιά ανακάλυψης του πρώτου πλανήτη εκτός του Ηλιακού μας συστήματος, έγινε γνωστή η ύπαρξη πλανητών σε τροχιά γύρω από άλλα άστρα. Αυτοί ονομάζονται εξωηλιακοί πλανήτες ή εξωπλανήτες (extrasolar planets).

Τον Φεβρουάριο του 2017 ήταν γνωστοί **3.576** εξωηλιακοί πλανήτες σε **2.686** πλανητικά συστήματα. Ο αριθμός αυτός μεταβάλλεται γρήγορα, καθώς νέες ανακαλύψεις προστίθενται κάθε λίγο.

Ο κλάδος του «κυνηγιού πλανητών» είναι ένας από τους γρηγορότερα αναπτυσσόμενους της αστρονομίας, και συγκεντρώνει το ενδιαφέρον όλο και περισσότερων επιστημόνων, αλλά και σημαντικές επενδύσεις σε εξοπλισμό και κονδύλια. Οι ανακαλύψεις αυτές είναι όλες, πλην μίας, **έμμεσες**, δηλαδή τα σώματα αυτά δεν είναι παρατηρήσιμα με τηλεσκόπιο, εξαιτίας των τεράστιων αποστάσεών τους από τη Γη (δεκάδες έτη φωτός απέχουν οι πλησιέστεροι). Ανιχνεύσιμες είναι μόνο οι φασματοσκοπικές (συνήθως), φωτομετρικές ή αστρομετρικές μεταβολές που επιφέρει η κίνησή τους γύρω από τους αστέρες τους στο φως ή τη θέση των αστέρων αυτών.

(α) Εξωηλιακοί πλανήτες και ζωή

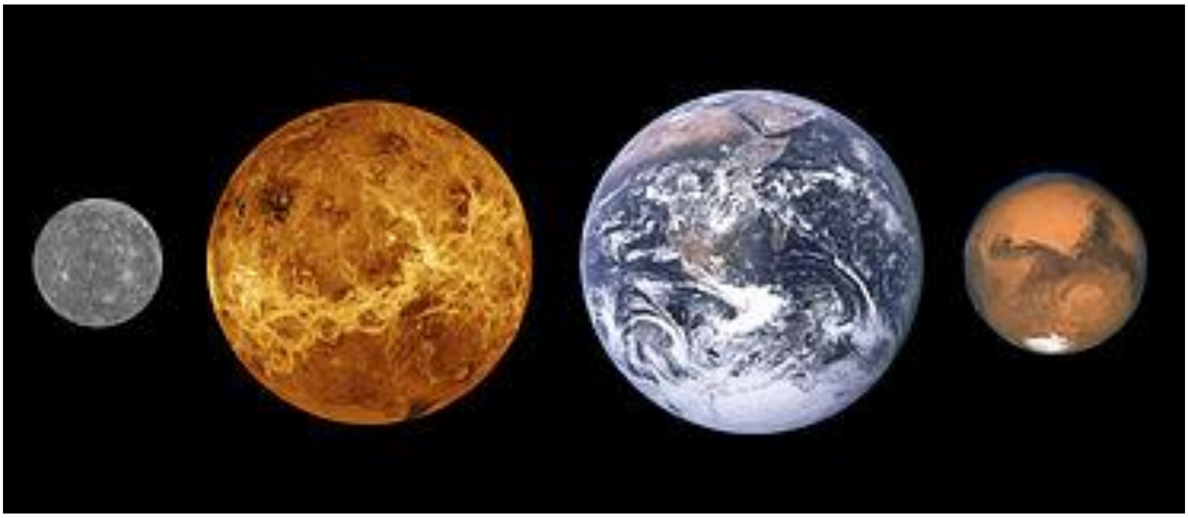
Εκτιμάται σήμερα ότι πάνω από το 10% των αστέρων του τύπου του Ηλίου διαθέτει πλανήτες. Η ανακάλυψη αρκετών εξωηλιακών πλανητών θέτει σε νέες βάσεις το ζήτημα της υπάρξεως εξωγήινης ζωής, καθώς δίνει μια καλύτερη εικόνα της στατιστικής πιθανότητας ανάπτυξης ζωής στο γαλαξία μας (σύμφωνα και με την εξίσωση Ντρέικ). Σήμερα, ο δεύτερος πλανήτης του ερυθρού νάνου αστέρα Gliese 581, που απέχει 20 έτη φωτός από τη Γη, φέρεται ως ένα από τα καλύτερα μέχρι στιγμής παραδείγματα εξωπλανήτη λίγο μόνο μεγαλύτερου από τη Γη που περιφέρεται σε τέτοια απόσταση από τον αστέρα του (μέσα στη λεγόμενη «κατοικήσιμη ζώνη»), ώστε να είναι δυνατή η εμφάνιση και η ανάπτυξη της ζωής πάνω του. Άλλα παραδείγματα είναι η πρόσφατη ανακάλυψη επτά «γήινων» εξωπλανητών γύρω από το άστρο Trappist-1, σε απόσταση 39 ετών φωτός από τη Γη**,** αν και με τα υφιστάμενα στοιχεία, μάλλον αποκλείεται η ύπαρξη ανώτερης μορφής ζωής σ' αυτούς. Ένας από τους λόγους είναι ότι η περιφορά τους γύρω από τον Trappist-1 και η περιστροφή γύρω από τον άξονά τους, λόγω μεγάλων παλιρροϊκών δυνάμεων, έχουν την ίδια περίπου περίοδο. Αυτό σημαίνει ότι θα έχουν στραμμένη πάντα την ίδια πλευρά προς τον αστέρα, ενώ η άλλη θα παραμένει πάντοτε σκοτεινή. Αν κάποιοι από αυτούς έχουν ατμόσφαιρα, όπως εικάζεται, θα έχουμε ακραίες θερμοκρασιακές διαφορές και έντονους ανέμους. Δημιουργούνται δηλαδή μη κατάλληλες συνθήκες για ανώτερες μορφές ζωής[2]. Η ύπαρξη ζωής σχεδόν σε όλους τους υπόλοιπους εξωηλιακούς πλανήτες που έχουν ανακαλυφθεί αποκλείεται, καθώς πρόκειται για γίγαντες αερίων με πολύ υψηλές θερμοκρασίες στην ατμόσφαιρά τους.

---

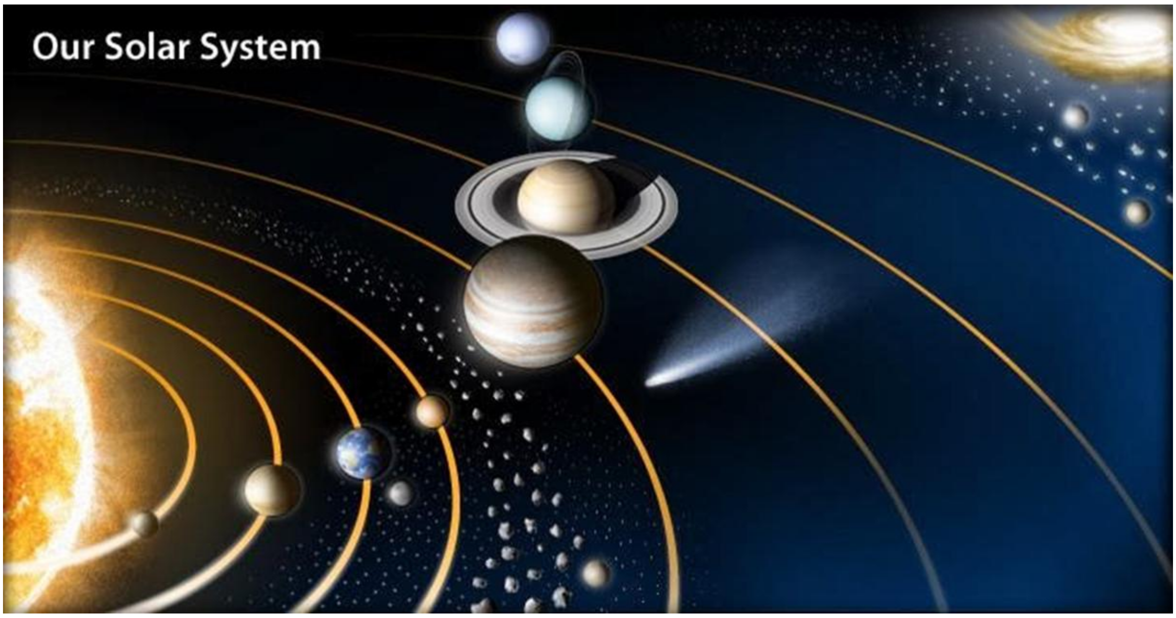
2. Βλέπε άρθρο του Δεληβοριά, Α. κ.ά. (2017) «*Επτά Έλληνες αστρονόμοι και αστροφυσικοί μιλούν για την ανακάλυψη επτά «γήινων» εξωπλανητών*». Ιστοσελίδα της ΕΡΤ, Πηγή: ΑΠΕ, http://www.ert.gr/radiotileorasi/poiotita-zois-radiotileorasi/epta-ellines-astronomi-ke-

6.3.3 Οι Γήινοι πλανήτες: Ερμής, Αφροδίτη, Άρης

Ο Ερμής, η Αφροδίτη και ο Αρης χαρακτηρίζονται ως γήινοι πλανήτες καθώς έχουν αρκετά κοινά χαρακτηριστικά με τη Γη (βλέπε εικ. 6.11 α). Οι πλανήτες αυτοί είναι οι πλησιέστεροι προς τη Γη (βλέπε εικ. 6.11 β).



Εικόνα 6.11 α: Οι γήινοι πλανήτες, Ερμής, Αφροδίτη, Γη και Άρης, μεγέθους κλίμακας.



Εικόνα 6.11 β: Οι τέσσερις γήινοι πλανήτες του ηλιακού μας συστήματος κάτω αριστερά.

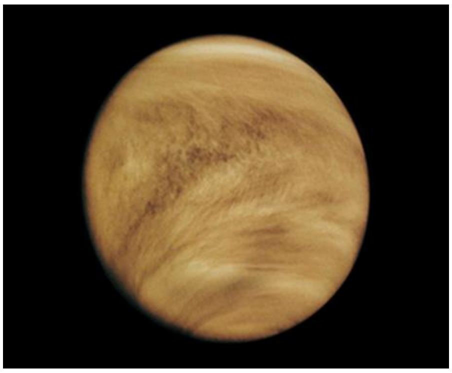
Οι αρχαίοι λαοί και ιδιαίτερα οι αρχαίοι Έλληνες συνέδεσαν του τρεις γήινους πλανήτες με τη ζωή τους και τις ανησυχίες τους.
Στον Ερμή δόθηκε το όνομα του αγγελιαφόρου των θεών του Ολύμπου, για τη γρήγορη κίνησή του στον ουρανό.
Στη λαμπερή και όμορφη Αφροδίτη έδωσαν το όνομα της θεάς της ομορφιάς και του έρωτα. Τη συνέδεσαν με την πιο όμορφη εποχή του έτους, την άνοιξη, τότε που πριν ανατείλει ο Ήλιος, πρώτη αυτή έφερνε το φως της ημέρας. Ακόμα και σήμερα την ονομάζουμε Έσπερο, καθώς τη βλέπουμε να εμφανίζεται και μετά την δύση του Ήλιου. Αδελφές του Έσπερου ήταν οι Εσπερίδες και πατέρας τους ο Άτλας. Πούλια ή Εώσφορο ή Φωσφόρο την ονόμαζαν, μια και αυτή έφερνε το φως τη μέρας. Ο Εωσφόρος ήταν γιος του Αστραίου και της Αυγής.
Στον κοκκινωπό Άρη, έδωσαν το όνομα του θεού του πολέμου, που λόγω της εμφάνισής του, ταίριαζε περισσότερο.

Εξετάζοντας τα φυσικά χαρακτηριστικά των γήινων πλανητών θα παρατηρήσουμε ότι έχουν κοινή χημική σύσταση και περίπου την ίδια πυκνότητα. Φυσικά υπάρχουν και διαφορές, όπως αυτή της επιφανειακής μέσης θερμοκρασίας, η οποία προφανώς οφείλεται στην απόσταση κάθε πλανήτη από τον Ήλιο. Ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι κινήσεις τους και ιδιαίτερα η περιστροφή τους γύρω από τον άξονά τους. Συγκεκριμένα ενώ οι περισσότεροι πλανήτες περιστρέφονται από τη δύση προς την ανατολή, η Αφροδίτη περιστρέφεται από την ανατολή προς τη δύση, δηλαδή κατά την ανάδρομη φορά.

Ακόμη παρατηρούμε ότι ο Ερμής και ο Άρης έχουν αραιή ατμόσφαιρα, σε σχέση με την πολύ πυκνή της Αφροδίτης. Στην ατμόσφαιρα της Αφροδίτης και του Άρη κυριαρχεί το διοξείδιο του άνθρακα σε ποσοστό μεγαλύτερο του 90%, ενώ ελάχιστο είναι το οξυγόνο. Στον Ερμή (βλέπε εικ. 6.12) το οξυγόνο, όπως και το ήλιο υπάρχουν σε αρκετά μεγάλο ποσοστό, περίπου 40% το καθένα. Ισχυρές ανεμοθύελλες σκόνης καλύπτουν ολόκληρο τον Άρη για μήνες. Τα πυκνά νέφη της Αφροδίτης που αποτελούνται από διοξείδιο του άνθρακα, λειτουργούν ως θερμοκήπιο και είναι υπεύθυνα για τις υψηλές θερμοκρασίες που παρατηρούνται στην επιφάνειά της: 450 με 500 C$^{\circ}$ (βλέπε εικ. 6.13).



Εικόνα 6.12: Ερμής



Εικόνα 6.13: Αφροδίτη

Η επιφάνεια και των τριών πλανητών είναι γεμάτη από κρατήρες, όρη, οροσειρές και πεδιάδες, αποτέλεσμα έντονης ηφαιστειακής και σεισμικής δραστηριότητας ή και πρόσκρουσης μετεωριτών στην επιφάνειά τους.

Ένα χαρακτηριστικό που μπορεί να παρατηρήσει κανείς με τηλεσκόπιο, στην επιφάνεια του Άρη, είναι μια λευκή κηλίδα στους πόλους του, η οποία αποτελείται από ξηρό πάγο (στερεοποιημένο διοξείδιο του άνθρακα) και εμφανίζεται περιοδικά κατά το χειμώνα (βλέπε εικ. 6.14).



Εικόνα 6.14: Άρης

Το εσωτερικό αυτών των πλανητών έχει δομή όμοια με αυτήν της Γης. Ο Ερμής και ο Άρης έχουν αδύναμο μαγνητικό πεδίο που οφείλεται στο στερεό πυρήνα τους. Η Αφροδίτη, λόγω της αργής περιστροφής της γύρω από τον άξονά της δεν έχει μαγνητικό πεδίο.

Από τους τρεις πλανήτες, ο Ερμής και η Αφροδίτη δεν έχουν δορυφόρους. Ο Άρης έχει δύο μικρούς, τον Φόβο και τον Δείμο, οι οποίοι ανακαλύφθηκαν το 1887.

Η εξερεύνηση των γήινων πλανητών ξεκινάει από πολύ παλιά (μέσω τηλεσκοπίων) με την χαρτογράφηση της επιφάνειας τους, όμως η ουσιαστική εξερεύνησή τους αρχίζει με την επίσκεψη των διαστημοπλοίων, προκειμένου να δοθούν απαντήσεις σε σημαντικά ερωτήματα, όπως αυτό της ύπαρξης ζωής.

Η ιδέα της ύπαρξης ζωής αρχίζει με την παρατήρηση του Άρη από τα τέλη του 19ο αι. Ένα από τα βασικά στοιχεία που αναζητούνται είναι η ύπαρξη νερού. Μερικοί γεωλογικοί σχηματισμοί που παρατηρούνται στον Άρη μας κάνουν να πιστεύουμε ότι σχηματίστηκαν με τη ροή νερού στην επιφάνεια του πλανήτη. Παρόλη την υπόθεση της ύπαρξης νερού κατά το παρελθόν στον Άρη, οι τωρινές φυσικές συνθήκες αλλά και αυτές του παρελθόντος αποκλείουν την πιθανότητα της ύπαρξης κάποιας ανώτερης μορφής ζωής. Ούτε καν πολυκύτταροι οργανισμοί δεν πρέπει να υπήρξαν. Αν υπάρχει ζωή, αυτή θα είναι σε επίπεδο μονοκύτταρων βακτηριδίων.

Σήμερα, περισσότερο από ποτέ, η πιθανότητα ύπαρξης ζωής σε έναν πλανήτη ο οποίος παρουσιάζει μεγάλες ομοιότητες με τη Γη, εξακολουθεί να απασχολεί τους ερευνητές.

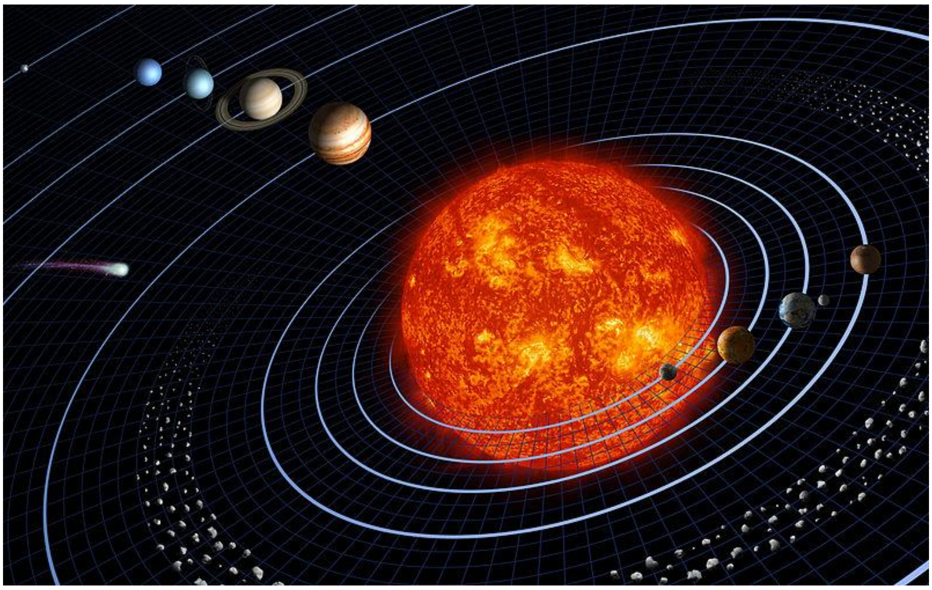
Σημείωση: Με τα σημερινά δεδομένα, η διάρκεια του ταξιδιού Γης – Άρη είναι 6 - 8 μήνες και για να πραγματοποιηθεί το ταξίδι της επιστροφής θα πρέπει να περιμένουμε περίπου ενάμιση χρόνο, ώστε να βρεθούν ξανά σε ευνοϊκές θέσεις Άρης και Γη[3].

---

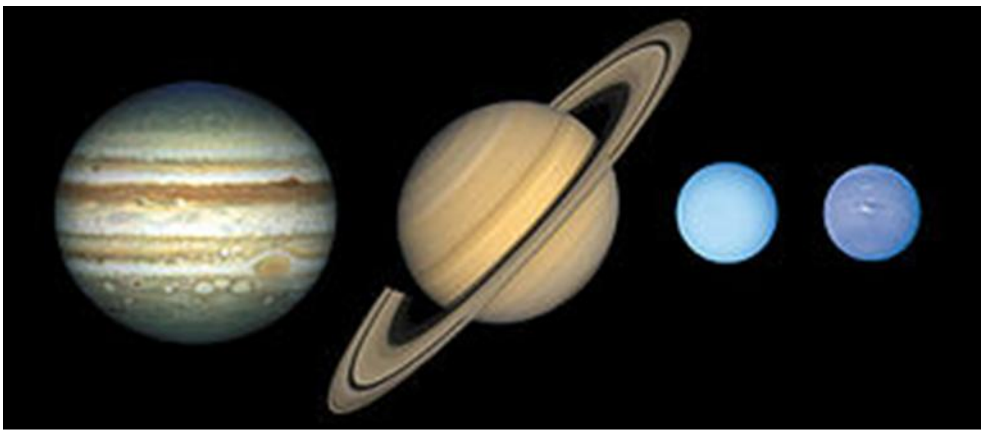
3. Βλέπε άρθρο «*Ταξίδι στον Άρη*» από πρόγραμμα ΠΑΜΕ ΔΙΑΣΤΗΜΑ, Υπεύθυνοι προγράμματος Μαρία Τσιοπούλου - Κώστας Τσέλιος, Συμμετέχων μαθητής Φίλιππος Σαμανόπουλος, Εσπερινό Γενικό Λύκειο Καστοριάς, 2009 – 2010, http://lyk-esp-kastor.kas.sch.gr/ekdiloseis0910/pame_diastima/taksidi.html

6.3.4 Οι πλανήτες της οικογένειας του Δία

Ο Δίας, ο Κρόνος, ο Ουρανός και ο Ποσειδώνας αποτελούν τη δεύτερη ομάδα πλανητών με κοινά χαρακτηριστικά. Ονομάζονται «Αέριοι Πλανήτες» ή Δίιοι πλανήτες, από το όνομα του μεγαλύτερου πλανήτη, του Δία (βλέπε εικ. 6.15 α, β). Παρατηρούνται με τη βοήθεια τηλεσκοπίου, εκτός από το Δία και τον Κρόνο, που φαίνονται και με γυμνό μάτι να κινούνται αργά ανάμεσα στους απλανείς.



Εικόνα 6.15 α: Οι τέσσερις αέριοι γίγαντες του ηλιακού μας συστήματος πάνω αριστερά.



Εικόνα 6.15 β: Ο Δίας, ο Κρόνος με το σύστημα δακτυλίων του, ο Ουρανός και ο Ποσειδώνας.

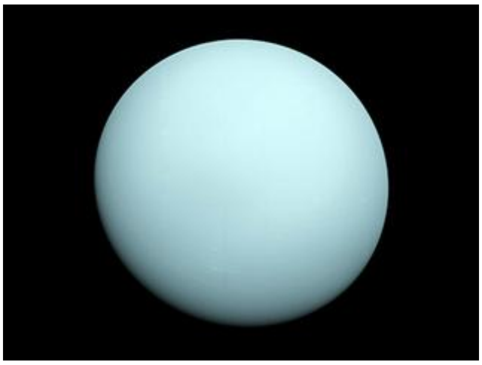
Οι αρχαίοι Έλληνες έδωσαν το όνομα του πιο σπουδαίου θεού τους στον πλανήτη Δία. Σύμφωνα με τη μυθολογία, ο Δίας είναι γιος του Κρόνου. Γεννήθηκε κρυφά από τον πατέρα του σε μια σπηλιά και μεγάλωσε με τις φροντίδες των Νυμφών του όρους Δίκτυς. Επίσης λέγεται ότι τράφηκε με το γάλα της κατσίκας Αμάλθειας. Οι Ρωμαίοι τον ονόμαζαν Jupiter, που σημαίνει (Λάμπων) πατήρ. Αυτό είναι και το όνομα του πλανήτη διεθνώς.
Το όνομα του πλανήτη Κρόνου κατά τους Ορφικούς και Στωικούς παράγεται από το Χρόνος, ο οποίος καταβροχθίζει ό,τι ο ίδιος γεννά, όπως ακριβώς έκανε και ο θεός Κρόνος, που κατάπιε τα παιδιά του. Οι δορυφόροι του έχουν ονόματα Τιτάνων και Γιγάντων, παιδιών του Ουρανού και της Γαίας, όπως ήταν και ο ίδιος ο Κρόνος.
Ο Ουρανός, άγνωστος μέχρι το 1781, πήρε το όνομα του θεού Ουρανού, γιου και συζύγου της Γαίας. Σύμφωνα με τη μυθολογία αυτοί γεννούν αδιάκοπα το καλό και το κακό, τους θεούς και τους Τιτάνες. Η Γη είναι η καθολική μητέρα η οποία παράγει και τρέφει όλα τα όντα. Ο Ουρανός θέλει να σταματήσει τη δημιουργία και γι΄αυτό βυθίζει τα παιδία του, νέφη και βροχή, στα έγκατα της Γης. Ο γιος τους, Κρόνος, κτυπά και απομακρύνει τον πατέρα Ουρανό. Γι΄αυτό ο πέρα από τον Κρόνο πλανήτης ονομάστηκε από τους σύγχρονους αστρονόμους Ουρανός. Οι δορυφόροι του παίρνουν ονόματα από έργα του Σαίξπηρ.
Στον όγδοο πλανήτη δόθηκε το όνομα Ποσειδών, που είναι συνέχεια των ονομάτων των άλλων θεών, που δόθηκαν στους προηγούμενους πλανήτες. Είναι ο θεός της θάλασσας και λατρευόταν σε όλη την Ελλάδα και την Ιταλία. Οι δορυφόροι του, Τρίτων και Νηρηίς, κατά τη μυθολογία ήταν θαλάσσιοι θεοί, από τη μέση και πάνω άντρες και από τη μέση και κάτω τέρατα.

Ο Δίας είναι το πιο λαμπρό σώμα μετά την Αφροδίτη και έχει κιτρινωπό χρώμα (βλέπε εικ. 6.16). Κατέχει κεντρική θέση στην ιστορία της Αστρονομίας, γιατί παρατηρώντας τον ο Γαλιλαίος για πρώτη φορά το 1610 μ.Χ., επιβεβαίωσε τη θεωρία του Κοπέρνικου.

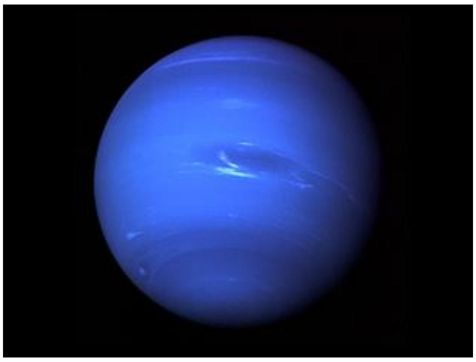


Εικόνα 6.16: Σύγκριση Γης και Δία

Αν η παρατήρηση του Δία επιβεβαίωσε την Κοπερνίκεια θεωρία, η παρατήρηση του Ποσειδώνα αποτέλεσε τη μεγάλη συνεισφορά των μαθηματικών και την Νευτώνειας μηχανικής στην επιστήμη της Αστρονομίας. Ο Ποσειδώνας παρατηρήθηκε για πρώτη φορά στις 23 Σεπτεμβρίου 1846. Τα στοιχεία της τροχιάς του και το σημείο στο οποίο θα βρισκόταν την συγκεκριμένη ημερομηνία υπολογίστηκαν από τις ανωμαλίες που προκαλούσε στην κίνηση του Ουρανού.



Εικόνα 6.17: Ουρανός



Εικόνα 6.18: Ποσειδώνας

Τα χαρακτηριστικά των δίιων πλανητών έχουν ενδιαφέρον αν τα συγκρίνουμε μεταξύ τους καθώς και με τα αντίστοιχα των γήινων. Παρακάτω δίνονται στον πίνακα 6.19 τα χαρακτηριστικά των δίιων πλανητών και στον πίνακα 6.20 τα αντίστοιχα των γήινων:

Πίνακας 6.19: Τα φυσικά χαρακτηριστικά των δίιων πλανητών.

Χαρακτηριστικά	Δίας	Κρόνος	Ουρανός	Ποσειδώνας
Ακτίνα στον Ισημερινό	71.492 Km	60.266 Km	25.559 Km	24.746 Km
Μάζα	$1,9 \times 10^{27}$ Kg	$5,688 \times 10^{26}$ Kg	$8,686 \times 10^{25}$ Kg	$1,024 \times 10^{26}$
Μέση πυκνότητα	1,33 gr /cm^{3}	0,69 gr /cm^{3}	1,29 gr /cm^{3}	1,64 gr /cm^{3}
Ταχύτητα διαφυγής	59,56 Km/s	35,49 Km/s	21,30 Km/s	23,50 Km/s
Επιτάχυνση της Βαρύτητας	22,88 m/s^{2}	9,05 m/s^{2}	7,77 m/s^{2}	11,0 m/s^{2}
Μέση απόσταση από τον Ήλιο	778.330.00 Km	1.429.400.000 Km	2.870.990.000 Km	4.504.300.000 Km
Μέση θερμοκρασία	-121C έως 17C	-125C	-193C	-218C
Περιήλιο	740.600.000 Km	1.349.900.000 Km	2.739.300.000 Km	4.465.600.000 Km
Αφήλιο	816.000.000 Km	1.508.900.000 Km	3.010.700.000 Km	4.546.100.000 Km
Περίοδος περιστροφής γύρω από τον άξονά του	9,8 ώρες	10,233 ώρες	17,24 ώρες	16,1 ώρες
Περίοδος περιφοράς γύρω από τον Ήλιο	11,86 γήινα έτη	29,458 έτη	84,01 έτη	164,79 έτη
Μέση ταχύτητα περιφοράς γύρω από τον Ήλιο	13,07 Km/s	9,67 Km/s	6,81 Km/s	5,45 Km/s

Πίνακας 6.20: Τα φυσικά χαρακτηριστικά των γήινων πλανητών.

Χαρακτηριστικά	Ερμής	Αφροδίτη	Άρης
Ακτίνα στον Ισημερινό	2.439,7 Km	6.051,8 Km	3.397 Km
Μάζα	3,303 10^{23} Kg	4,869 10^{24} Kg	6,421 10^{23} Kg
Μέση πυκνότητα	5,42 gr /cm^3	5,25 gr /cm^3	3,940 gr /cm^3
Ταχύτητα διαφυγής	4,25 Km/sec	10,36 Km/sec	5,0 Km/sec
Επιτάχυνση της Βαρύτητας	2,78 m/sec^2	8,87 m/sec^2	3,72 m/sec^2
Μέση απόσταση απ' τον Ήλιο	57.910.000 Km	108.200.000 Km	227.940.000 Km
Μέση θερμοκρασία	179 C	482 C	-35 C (-87 έως 17 C)
Ατμοσφαιρική πίεση	;	92 ατμόσφαιρες	0,007 ατμόσφαιρες
Περιήλιο	46.000.000 Km	107.000.000 Km	206.600.000 Km
Αφήλιο	69.800.000 Km	108.900.000 Km	249.200.000 Km
Περίοδος περιστροφής γύρω από τον άξονά του	58,6462 γήινες ημέρες	243,02 γήινες ημέρες (κατά την ανάδρομη φορά)	26,4 ώρες
Περίοδος περιφοράς γύρω από τον Ήλιο	87,969 γήινες ημέρες	224,701 γήινες ημέρες	1,88 γήινα έτη (687 ημέρες)
Μέση ταχύτητα περιφοράς γύρω από τον Ήλιο	47,88 Km/sec	35,02 Km/sec	24,14 Km/sec

Πιο συγκεκριμένα στους δίιους παρατηρούμε ότι η ατμόσφαιρα και των τεσσάρων πλανητών αποτελείται από υδρογόνο σε μεγάλες ποσότητες που ξεπερνούν το 80%, ήλιο, μεθάνιο και ίχνη άλλων στοιχείων. Το μεθάνιο είναι υπεύθυνο για το γαλάζιο χρώμα του ουρανού (βλέπε εικ. 6.17) και το μπλε του Ποσειδώνα (βλέπε εικ. 6.18). Η ατμόσφαιρα των πλανητών αυτών αποτελείται από δύο στρώματα. Το ανώτερο στρώμα είναι διαφανές στο εξωτερικό του μέρος και πυκνώνει όσο κατεβαίνουμε προς την επιφάνεια. Το δεύτερο στρώμα αποτελείται από πυκνά νέφη μοριακού υδρογόνου. Τα νέφη αυτά κινούνται με διάφορες ταχύτητες και είναι υπεύθυνα για πολλά από τα φαινόμενα που παρατηρούνται στους δίιους πλανήτες (π.χ. η ερυθρά κηλίδα που παρατηρείται στο Δία, η οποία είναι ένας τεράστιος στρόβιλος σε σχήμα έλλειψης που κινείται με φορά αντίθετη των δεικτών του ρολογιού και συμπληρώνει μια περιστροφή κάθε επτά μέρες). Ανάλογα φαινόμενα, αλλά σε μικρότερη έκταση παρατηρούνται και στον Ποσειδώνα.

Στον Κρόνο και στον Ουρανό, τα νέφη διατάσσονται σε ζώνες παράλληλες προς τον ισημερινό τους, εξαιτίας της διαφορικής κίνησης τους.

Διαφορική περιστροφή: φαινόμενο που παρατηρείται κατά την περιστροφή ενός ρευστού συμμετρικού σώματος. Περιοχές που βρίσκονται μακρύτερα από τον άξονα περιστροφής κινούνται με γωνιακές ταχύτητες μικρότερες από άλλες που βρίσκονται κοντά σε αυτόν (και επομένως έχουν διαφορετικές περιόδους περιστροφής).

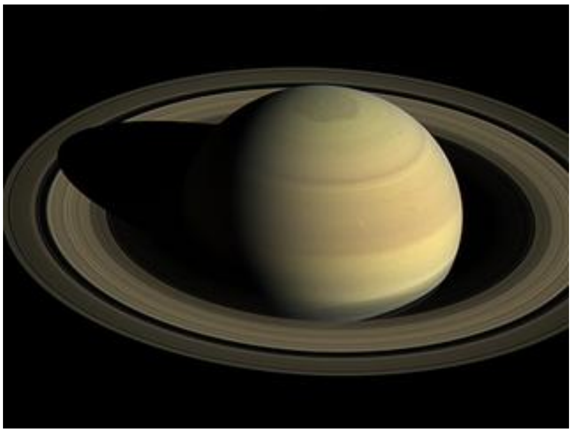
Σε κάποιους πλανήτες, όπως στο Δία, είναι πιθανό να επιπλέει στρώμα με υγρό υδρογόνο κάτω από την επιφάνεια των νεφών, με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν σαφή όρια μεταξύ της ατμόσφαιρας και της επιφάνειάς του.

Το εσωτερικό των δίιων πλανητών αποτελείται κυρίως από βραχώδη υλικά κι έχει την εξής δομή: Υπάρχει ένας μικρός πετρώδης πυρήνας και ακολουθεί ένας συνήθως παγωμένος μανδύας από πετρώματα, κρυσταλλική αμμωνία, μεθάνιο και σε ορισμένες περιπτώσεις νερό.

Ο Δίας, ο Ποσειδώνας και ο Ουρανός έχουν ισχυρό μαγνητικό πεδίο, σε αντίθεση με το πολύ ασθενές του Κρόνου. Το μαγνητικό πεδίο του Δία είναι δέκα φορές ισχυρότερο από εκείνο της Γης και εκτείνεται σε μεγάλη απόσταση από αυτόν.

Ο Δίας και ο Κρόνος εκπέμπουν περισσότερη ενέργεια (σχεδόν διπλάσια) από όση δέχονται από τον Ήλιο. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι πλανήτες αυτοί διαρκώς συστέλλονται με αποτέλεσμα να παράγουν θερμότητα.

Ένα από τα εντυπωσιακά φαινόμενα των δίιων πλανητών είναι οι δακτύλιοί τους. Η προέλευση των δακτυλίων δεν είναι πλήρως γνωστή. Πιστεύεται ότι δημιουργήθηκαν από μεγάλους δορυφόρους (φεγγάρια) που περιστρέφονταν γύρω από τους πλανήτες και θρυμματίστηκαν από την πρόσκρουσή τους με κομήτες και μετεωροειδείς. Η σύνθεση των δακτυλίων αφορά κυρίως σημαντικές ποσότητες πάγου νερού. Κομμάτια πάγου δείχνουν να περιστρέφονται μαζί με θραύσματα μετάλλων, κόκκους σκόνης και κομμάτια βράχων. Εντυπωσιακότεροι απ' όλους είναι οι δακτύλιοι του Κρόνου (βλέπε εικ. 6.21).



Εικόνα 6.21: Κρόνος

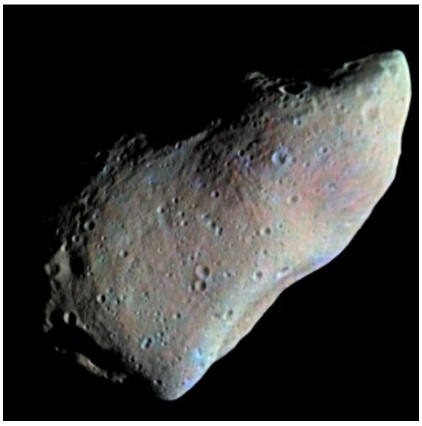
Οι πλανήτες αυτοί έχουν πολλούς δορυφόρους. Ο Δίας έχει 79, ο Κρόνος 62, ο Ουρανός 27 και ο Ποσειδώνας 13. Στο μέλλον δεν αποκλείεται να ανακαλυφθούν και άλλοι.

Η εξερεύνηση τους από διαστημόπλοια έγινε δυνατή στις δεκαετίες του ΄70 και του ΄80, και συνεχίζεται έως τις μέρες μας.

6.4 Αστεροειδείς

Ο όρος αστεροειδείς προσδιορίζει μικρά σώματα του ηλιακού συστήματος, που είναι σε τροχιά γύρω από τον Ήλιο. Η συντριπτική πλειονότητα των αστεροειδών είναι συγκεντρωμένη σε δύο ζώνες: στην Κύρια Ζώνη Αστεροειδών και στην Ζώνη Κάιπερ (Kuiper Belt). Οι αστεροειδείς θεωρούνται κατάλοιπα από το σχηματισμό του Ηλιακού Συστήματος και υπολογίζεται ότι υπάρχουν εκατομμύρια. Είναι δύσκολο να δοθεί ένας σαφής και τελικός ορισμός για το τι είναι ένας αστεροειδής, καθώς οι διαστάσεις, η σύνθεση και οι τροχιές τους ποικίλουν. Σε γενικές γραμμές, αστεροειδείς θεωρούνται τα μικρά σώματα του ηλιακού συστήματος που η μια τους διάσταση είναι μεγαλύτερη από πενήντα μέτρα (για να διακρίνονται από τους μετεωροειδείς) και μικρότερη από 2.500 χιλιόμετρα (ώστε να διακρίνονται από τους πλανήτες). Η δε συνολική τους μάζα είναι 1000 φορές μικρότερη από τη μάζα της Γης. Φυσικά, λόγω της μικρής μάζας που έχει το καθένα, έχουν μικρή ελκτική ικανότητα, και έτσι δεν μπορούν να συγκρατήσουν κάποια ατμόσφαιρα. Η δε σύνθεσή τους βασίζεται κυρίως στο πυρίτιο, τον άνθρακα και το σίδηρο (για να διακρίνονται από τους κομήτες, που αποτελούνται κυρίως από «λερωμένο πάγο»). Ο όρος αστεροειδής («σαν άστρο») χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά από τον Ουίλιαμ Χέρσελ το 1802. Δεν σημαίνει ότι οι αστεροειδείς έχουν κάποια κοινά χαρακτηριστικά με τους αστέρες, αλλά απλώς ότι στα τηλεσκόπια της εποχής οι αστεροειδείς φαίνονταν σας απλά σημεία φωτός, όπως και τα αστέρια, και όχι ως μικροί «δίσκοι», όπως οι πλανήτες.

Με απλά λόγια μπορούμε να περιγράψουμε τους αστεροειδείς σαν τεράστιους βράχους σε τροχιά γύρω από τον Ήλιο. Συνήθως έχουν ακανόνιστο σχήμα που μοιάζει με πατάτα (βλέπε εικ. 6.22), οι μεγαλύτεροι όμως έχουν σφαιρικό ή ελλειπτικό σχήμα, καθώς η βαρύτητα που δημιουργεί η μάζα τους στην επιφάνειά τους υπερισχύει. Σύμφωνα με το ψήφισμα 5Α της 26ης Συνόδου της Διεθνούς Αστρονομικής Ενώσεως (2006), οι σχεδόν σφαιρικοί αστεροειδείς ονομάζονται στο εξής και νάνοι πλανήτες.



Εικόνα 6.22: Ο 951 Gaspra, ο πρώτος αστεροειδής που φωτογραφήθηκε από κοντά.

Οι περισσότεροι αστεροειδείς, όπως αναφέραμε, βρίσκονται στην Κύρια Ζώνη των αστεροειδών, μια περιοχή ανάμεσα στις τροχιές του Άρη και του Δία, και σε απόσταση περίπου 3 αστρονομικών μονάδων (AU) από τον Ήλιο. Οι δύο φυσικοί δορυφόροι του Άρη, Φόβος και Δείμος, είναι αστεροειδείς που μπήκαν σε τροχιά γύρω από τον πλανήτη. Κάποιοι από τους αστεροειδείς έχουν και οι ίδιοι μικρούς δορυφόρους, ενώ έχουν ανακαλυφθεί και κάποια τριπλά συστήματα.

Οι αστεροειδείς της Ζώνης Κάιπερ βρίσκονται πέρα από την τροχιά του Ποσειδώνος, και για το λόγο αυτό είναι γνωστοί και με τη γενική ονομασία «Μεταποσειδώνεια Αντικείμενα (Transneptunian Objects, TNOs).

Το μεγαλύτερο γνωστό μέλος της Ζώνης Κάιπερ είναι ο νάνος πλανήτης (και πρώην ένατος πλανήτης του Ηλιακού Συστήματος) 134340 Πλούτωνας.

Παλιότερα, οι αστεροειδείς της Κύριας Ζώνης θεωρούνταν ότι ήταν τα συντρίμμια ενός πλανήτη που κινούνταν εκεί που βρίσκεται τώρα η Κύρια Ζώνη αστεροειδών και θρυμματίστηκε από κάποια κατακλυσμιαία σύγκρουση. Σήμερα όμως επικρατεί η αντίθετη θεωρία, ότι δηλαδή οι αστεροειδείς ήταν το υλικό για ένα μικρό πλανήτη, του μεγέθους του Άρη, ή μικρότερο, που όμως δεν σχηματίστηκε ποτέ, λόγω της επίδρασης της βαρύτητας του Δία.

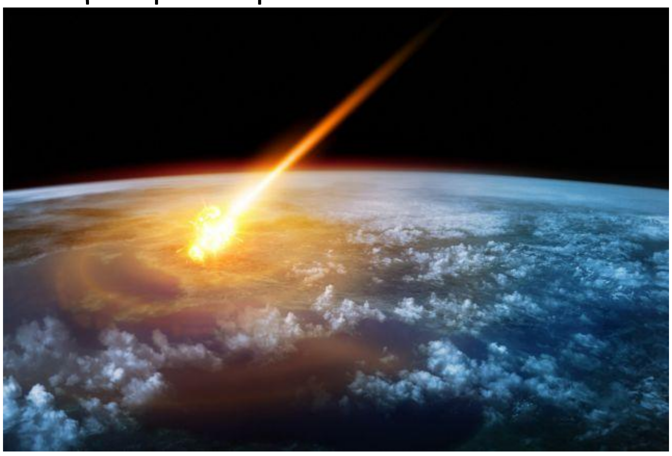
6.4.1 Αστεροειδής και Γη
(α) Αποτελέσματα μιας σύγκρουσης

Είναι γνωστή η θεωρία ότι η εξαφάνιση των δεινοσαύρων οφείλεται στην πρόσκρουση κάποιου αστεροειδούς με τη Γη! Η θεωρία έρχεται να επιβεβαιωθεί με την ανακάλυψη ενός τεράστιου κρατήρα που σήμερα εντοπίζεται στο βυθό του Κόλπο του Μεξικού, κοντά στη χερσόνησο Γιουκατάν. Οι συγκρούσεις του είδους αυτού δεν είναι σπάνιες στην ιστορία της Γης και των άλλων πλανητών, αν και συμβαίνουν σπάνια όσον αφορά την ανθρώπινη αίσθηση του χρόνου (κάθε κάποιες δεκάδες χιλιάδες ή και εκατομμύρια χρόνια). Λόγω του σχετικά μεγάλου μεγέθους τους οι αστεροειδείς δεν θα καίγονταν στην ατμόσφαιρα, αλλά θα έφταναν στην επιφάνεια της γης ουσιαστικά ακέραιοι, αντίθετα με τους μετεωρίτες.

Οι καταστροφές που θα προκαλούνταν από μια σύγκρουση με ένα τέτοιο αντικείμενο θα ήταν ανεπανόρθωτες:

Αν η πρόσκρουση λάμβανε χώρα στη ξηρά θα καταστρέφονταν τα πάντα σε ακτίνα εκατοντάδων χιλιομέτρων, λόγω του ωστικού κύματος, και θα πυροδοτούνταν πυρκαγιές και πρωτόγνωροι σεισμοί. Το φως του ηλίου θα κρυβόταν, αφού η σκόνη και η στάχτη που θα δημιουργούνταν κατά τη σύγκρουση θα διασκορπίζονταν σε όλη την ατμόσφαιρα, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός φαινομένου τύπου πυρηνικού χειμώνα που θα διαρκούσε πολλά χρόνια. Συνεπώς η ζωή στη Γη θα εξαφανιζόταν, τουλάχιστον κατά το μεγαλύτερο μέρος της.

Αν η πρόσκρουση γινόταν σε κάποιον ωκεανό, θα προκαλείτο τσουνάμι ύψους εκατοντάδων μέτρων, το οποίο θα κατέστρεφε ολοκληρωτικά τις πόλεις και τα χωριά σε ακτίνα δεκάδων χιλιομέτρων από τις ακτές. Ακόμη, η θερμότητα θα έβραζε το νερό, σκοτώνοντας τη ζωή κοντά στο μέρος της πρόσκρουσης και απελευθερώνοντας τεράστιες ποσότητες ατμών στην ατμόσφαιρα, διαταράσσοντας το παγκόσμιο κλίμα.



(β) Σενάρια αντιμετώπισης

Η πιθανότητα πρόσκρουσης κάποιου ουράνιου σώματος με τη Γη άρχισε να εξετάζεται στα μέσα στης δεκαετίας του 1980, καθώς και τα σενάρια αποτροπής της. Διάφορες λύσεις προτάθηκαν για το ενδεχόμενο που ένας αστεροειδής θα είχε τροχιά σύγκρουσης με τον πλανήτη μας. Η ευκολότερη λύση θα ήταν η εκτόξευση πυραύλων με πυρηνικές κεφαλές κατά του αστεροειδούς, όχι για να τον θρυμματίσουν (μια και τα θραύσματα θα ακολουθούσαν την ίδια τροχιά και θα έπεφταν τελικά στη Γη), αλλά για να αλλάξει η τροχιά του αντικειμένου από το παραγόμενο από την έκρηξη πλάσμα.

Άλλη μια λύση που προτάθηκε ήταν το βάψιμο του μισού αστεροειδούς με ένα ανοιχτό χρώμα, ούτως ώστε να αλλάξει τροχιά, λόγω της διαφορετικής πίεσης της ηλιακής ακτινοβολίας στις δύο πλευρές. Πρόσφατα προτάθηκε η χρήση μιας μεγάλης μάζας σε τροχιά γύρω από τον αστεροειδή, ενός δηλαδή βαρυτικού γερανού, η βαρυτική επίδραση του οποίου θα απέτρεπε τη σύγκρουσή του με τη Γη.

Χάριν στη σύγχρονη τεχνολογία έχουν επαληθευτεί και καταγραφεί οι τροχιές εκατοντάδων χιλιάδων αστεροειδών. Οι 3.352 από αυτούς έχουν τροχιές που περνούν κοντά από τη Γη (Near Earth Asteroids) και παρακολουθούνται διαρκώς. Όπως διαβεβαιώνουν τα ειδικά επιτελεία που ασχολούνται με τον υπολογισμό ενδεχόμενης σύγκρουσης, κανένα από αυτά τα σώματα δεν έχει ιδιαίτερα υψηλές πιθανότητες να χτυπήσει τη Γη (την υψηλότερη πιθανότητα την έχει το σώμα (29075) 1950 DA, που έχει μια στις 300 πιθανότητες σύγκρουσης με τη Γη, το 2880).

Εν τω μεταξύ συνεχίζεται η έρευνα εντοπισμού και καταγραφής και άλλων αστεροειδών. Πολλοί επιστήμονες, ανάμεσά τους κι ο γνωστός πλανητολόγος Καρλ Σαγκάν, είχαν εκφράσει την επιφύλαξή τους απέναντι σε αυτή την προσπάθεια, με το σκεπτικό ότι η χαρτογράφηση αστεροειδών με τροχιές κοντά σε αυτή της Γης θα μπορούσε να βοηθήσει το έργο φανατικών που, μελλοντικά, θα ήθελαν να αλλάξουν την τροχιά κάποιου από αυτούς έτσι ώστε να χτυπήσουν κάποιο εχθρικό σε αυτούς κράτος ή να επισπεύσουν τη Δευτέρα Παρουσία.

6.4.2 Εξερεύνηση των αστεροειδών

Η εξερεύνηση των αστεροειδών ξεκίνησε με την αποστολή διαστημοσυσκευών, οι οποίες τους φωτογράφησαν από κοντά. Σε μία περίπτωση, μια από τις διαστημοσυσκευές προσεδαφίστηκε στην επιφάνεια ενός αστεροειδούς και συνέλεξε δείγματα εδάφους.

Στο μέλλον δεν αποκλείεται το ενδεχόμενο να πραγματοποιηθούν και επανδρωμένες αποστολές. Επιπλέον είναι πιθανή η δημιουργία ορυχείων στους αστεροειδείς, με σκοπό τη λήψη πολύτιμων μετάλλων, χωρίς να επιβαρύνεται η Γη. Ένα ακόμη σενάριο είναι και η τοποθέτηση πυραυλοκινητήρα, ώστε να μπει ο αστεροειδής σε ασφαλή τροχιά γύρω από τη Γη. Ακόμα και στην περίπτωση που «ξεμείνει» από υλικά, θα μπορούσε να παραμείνει χρήσιμος ως βάση για την κατασκευή διαστημικών αποικιών.

6.5 Κομήτες



Ο κομήτης Χέιλ-Μποπ, σε φωτογραφία
του Geoff Chester στις 11 Μαρτίου 1997

Οι κομήτες είναι από τα πιο εντυπωσιακά ουράνια σώματα, τόσο λόγω του μεγέθους τους, που μπορεί να καταλαμβάνει 30° της ουράνιας σφαίρας, όσο και του σχήματός τους. Σε αντίθεση με τους απλανείς αστέρες και τους πλανήτες παρουσιάζουν νεφελώδη όψη. Η ύλη από την οποία συνίστανται, μερικές φορές επιμηκύνεται υπό μορφή μακριάς ουράς (από την οποία προκύπτει και το όνομά τους - αρχ. ελλ. λέξη "κόμη") όταν διέρχονται κοντά από τον ήλιο. Αυτά τα φαινόμενα παρατηρούνται εξαιτίας της δράσης της ηλιακής ακτινοβολίας και του ηλιακού ανέμου στον κομήτη (βλέπε σχ. 6.23).

Πρόκειται για σώματα με μικρή πυκνότητα και μάζα, μικρότερη από το ένα δισεκατομμυριοστό της γήινης, τα οποία περιφέρονται γύρω από τον Ήλιο σε ανοικτές ή ελλειπτικές τροχιές. Οι συνηθισμένοι κομήτες αποτελούνται από τρία μέρη: τον πυρήνα από πάγο και σκόνη, την κόμη από αέρια (τα οποία προκύπτουν από την εξάχνωση του πυρήνα) και σκόνη, και την ουρά που αποτελείται συνήθως από δύο μέρη. Το ένα μέρος αποτελείται από σκόνη και το άλλο από ιόντα (πλάσμα), και εμφανίζεται μόνο όταν ο κομήτης προσεγγίζει τον Ήλιο. Οι πυρήνες των περισσότερων κομητών θεωρούνται πως είναι «βρώμικες χιονόμπαλες», η διάμετρος των οποίων εκτείνεται από μερικά μέτρα μέχρι περίπου ένα χιλιόμετρο. Εντούτοις, το ηλιακό σύστημα περιέχει κάποιους κομήτες, των οποίων η διάμετρος του πυρήνα τους υπερβαίνει τα δέκα χιλιόμετρα.

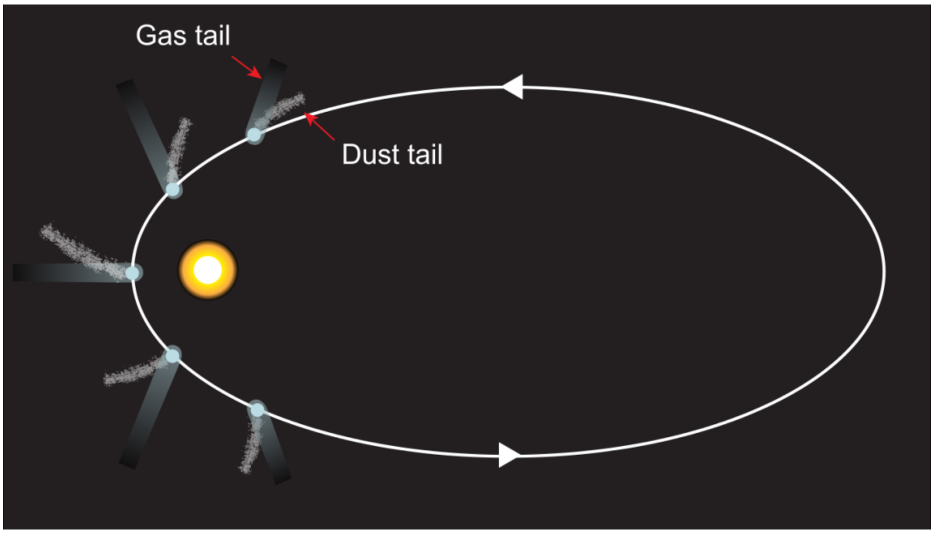
Πλάσμα: Κατάσταση της ύλης. Στην κατάσταση του πλάσματος η ύλη αποτελείται από ιόντα και ηλεκτρόνια που κινούνται ελεύθερα, όπως τα μόρια σε ένα αέριο. Πλήρης ιονισμός της ύλης μπορεί να πραγματοποιηθεί σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες ή από την αλληλεπίδρασή της με ακτινοβολίες υψηλών συχνοτήτων.

(α) Τροχιές κομητών

Οι τροχιές των κομητών διαγράφουν κατά κανόνα λίαν επιμήκεις ελλείψεις με εκκεντρότητα[4] (ε) που τείνει προς τη μονάδα (1) ή η εκκεντρότητά τους είναι μεγαλύτερη της μονάδας. Στη δεύτερη αυτή περίπτωση, αν ε > 1 ή και μέχρι ε = 1, οι τροχιές δεν είναι κλειστές καμπύλες, αλλά ανοιχτές. Και αν μεν ε = 1 τότε η τροχιά τους είναι παραβολική, αν δε ε > 1 τότε αυτή είναι υπερβολική. Όσοι κομήτες έχουν ελλειπτική τροχιά κινούνται περί τον Ήλιο εντός ορισμένου χρόνου και γι΄ αυτό λέγονται περιοδικοί. Αντίθετα, όταν οι τροχιές τους είναι ανοιχτές (παραβολές ή υπερβολές) πλησιάζουν την ηλιακή εστία στο περιήλιό[5] τους μόνο μία φορά και δεν επανέρχονται σε αυτό. Γι' αυτό οι κομήτες αυτοί ονομάζονται μη περιοδικοί.

(β) Κομήτες μικρής και μεγάλης περιόδου

Οι κομήτες μικρής περιόδου ορίζονται γενικά ως οι έχοντες τροχιακές περιόδους μικρότερες από 200 χρόνια. Η τροχιά τους βρίσκεται περίπου στο επίπεδο της εκλειπτικής και κινούνται στην ίδια κατεύθυνση με τους πλανήτες. Τα αφήλια τους βρίσκονται συνήθως πέρα από τις τροχιές των αέριων γιγάντων. Οι κομήτες μεγάλης περιόδου ορίζονται ως αυτοί των οποίων η τροχιακή περίοδος είναι μεγαλύτερη από 200 χρόνια. Συχνά οι τροχιές τους έχουν μεγάλη κλίση προς την εκλειπτική. Για κάποιους από αυτούς τους κομήτες έχει υπολογιστεί ότι η τροχιά τους έχει εκκεντρότητα ίση ή μεγαλύτερη από 1 κοντά στο περιήλιο, αλλά αυτό δεν σημαίνει απαραίτητα ότι ο κομήτης θα απομακρυνθεί τελείως από το Ηλιακό Σύστημα.



Σχήμα 6.23: Διάγραμμα τροχιάς κομήτη περί τον Ήλιο και της κατεύθυνσης των ουρών του: α) η ουρά σκόνης είναι στην ακτινική από τον ήλιο κατεύθυνση με φορά προς τα έξω επειδή ρυθμίζεται από την πίεση ακτινοβολίας του Ηλίου, β) η ουρά ιόντων ακολουθεί τις ρευματογραμμές του ηλιακού ανέμου επειδή το ιόντα ακολουθούν τις δυναμικές γραμμές του μαγνητικού πεδίου του ηλιακού ανέμου.

4. Η εκκεντρότητα είναι ένα μέγεθος που χαρακτηρίζει κάθε κωνική τομή και κατ' επέκταση και την τροχιά ενός ουράνιου σώματος γύρω από ένα άλλο, καθώς όλες οι τροχιές σε πεδίο βαρύτητας είναι κωνικές τομές. Η εκκεντρότητα συμβολίζεται διεθνώς με το γράμμα e και ορίζεται ο σταθερός λόγος των αποστάσεων ενός τυχόντος σημείου μιας κωνικής τομής από ένα σημείο (την εστία) και από μια ευθεία καλούμενη διευθετούσα. Ουσιαστικά είναι ένα μέτρο του πόσο η κωνική τομή «απέχει» από το να είναι τέλειος κύκλος. Ειδικότερα:

Η εκκεντρότητα ενός κύκλου είναι μηδέν

Η εκκεντρότητα μιας έλλειψης είναι μεγαλύτερη του μηδενός και μικρότερη του 1

Η εκκεντρότητα της παραβολής είναι ακριβώς 1

Η εκκεντρότητα της υπερβολής είναι μεγαλύτερη του 1 και πεπερασμένη

Η εκκεντρότητα μιας ευθείας είναι 1 ή άπειρο ανάλογα με τον ορισμό.

Συνεπώς, αντίστροφα, εκ του μέτρου μιας εκκεντρότητας είναι δυνατή η αντίληψη του σχήματος της κωνικής τομής της παραγωγής της.

5. Περιήλιο είναι το σημείο της τροχιάς ενός σώματος (π.χ. ενός πλανήτη) του Ηλιακού Συστήματος που βρίσκεται στη μικρότερη απόσταση από τον Ήλιο. Το αντίθετο του περιηλίου είναι το αφήλιο (βλέπε σύγγραμμα του Γαβρίλη, Κ. κ.ά. (2000) «*Στοιχεία Αστρονομίας & Διαστημικής*». Β΄ Ενιαίου Λυκείου, έκδοση Β΄, Ο.Ε.Δ.Β., Αθήνα, σσ. 174, 182).

Οι μακροπερίοδοι ή κομήτες μεγάλης περιόδου αποτελούν την πλειοψηφία των κομητών. Όπως προκύπτει από τον υπολογισμό της εκκεντρότητάς τους, παρουσιάζουν τροχιές σχεδόν παραβολικές και είναι μη περιοδικοί, πράγμα που σημαίνει πως δεν γνωρίζουμε αν και πότε θα επανέλθουν. Η περίοδος περιφοράς τους μπορεί να είναι μεταξύ 10.000 και 100.000.000 ετών.

Όπως μαρτυρά η μεγάλη κλίση που μερικοί κομήτες μεγάλης περιόδου έχουν, η κύρια πηγή προέλευσης αυτών των κομητών είναι το νέφος του Όορτ. Το νέφος του Όορτ βρίσκεται σε μεγάλη απόσταση από τον Ήλιο και θεωρείται ότι περιλαμβάνει περίπου ένα τρισεκατομμύριο πυρήνες κομητών. Ενίοτε, λόγω βαρυτικών αλληλεπιδράσεων με γειτονικά άστρα, μεσοαστρικά νέφη, τους πλανήτες του Ηλιακού Συστήματος ή με το σύνολο του Γαλαξία, οι πυρήνες αυτοί αρχίζουν να κατευθύνονται προς το κέντρο του Ηλιακού Συστήματος. Σπάνια, κομήτες με υπερβολική τροχιά κατευθύνονται προς τον Ήλιο και μετά απομακρύνονται τελείως από αυτόν, ενώ άλλοι λόγω αλληλεπιδράσεων με τους πλανήτες αποκτούν πολύ μικρότερες τροχιακές περιόδους. Υπάρχουν όμως και κομήτες με πολύ μικρές τροχιακές περιόδους, η προέλευση των οποίων θεωρείται η Ζώνη του Κάιπερ (που αρχίζει μετά την τροχιά του Ποσειδώνα).

Σχετικά με την προέλευση των κομητών η επικρατέστερη θεωρία είναι αυτή του Ολλανδού αστρονόμου Γιαν Όορτ. Σύμφωνα με αυτή, οι κομήτες είναι μέλη του ηλιακού μας συστήματος, που δημιουργήθηκαν μαζί με αυτό και κινούνται σε τροχιές πέρα από τον Πλούτωνα. Οι αποστάσεις τους από τον Ήλιο είναι τόσο μεγάλες, ώστε οι θερμοκρασίες τους είναι κοντά στο απόλυτο μηδέν (-273 C). Όταν μερικοί από αυτούς πλησιάζουν τους εξωτερικούς πλανήτες, κυρίως τον Δία και τον Κρόνο, οι τροχιές τους μεταβάλλονται, όπως προαναφέραμε, και είναι δυνατό να κινηθούν έτσι, ώστε να πλησιάσουν τον Ήλιο. Γίνονται ορατοί όταν πλησιάσουν τον Ήλιο σε απόσταση περίπου 1 A.U.

Κάθε κομήτης παίρνει το όνομα αυτού που θα τον παρατηρήσει πρώτος. Ο πιο ονομαστός είναι ο κομήτης του Χάλεϋ, γνωστός από το 240 π.Χ., και ο οποίος αναστάτωσε τη Γη το 1910, όταν πέρασε πολύ κοντά της. Το 1986 ξαναπέρασε κοντά από τη Γη, καθώς μας επισκέπτεται κάθε 76 χρόνια. Μπορούμε μάλιστα να αναφέρουμε την περίπτωση όπου μικρά θραύσματα του, προκάλεσαν ζημιά στη διαστημοσυσκευή Giotto κατά τη διάρκεια περάσματός της μέσα από την ουρά του.

Έχει υπολογιστεί ότι σε κάθε διάβαση από το περιήλιο ο κομήτης χάνει και ένα στρώμα, μια φλούδα καλύτερα πάχους τριών μέτρων από την επιφάνειά του. Αριθμός καθαρά ενδεικτικός καθώς δε λαμβάνεται υπόψιν το μέγεθος και το ακριβές σχήμα της τροχιάς. Όπως εξίσου ενδεικτικός είναι και ο αριθμός των διακοσίων περιστροφών μετά τις οποίες ο κομήτης διαχωρίζεται σε μικρότερα μέρη ή και αποσυντίθεται.Τα θραύσματα του μπορούν να δημιουργήσουν βροχές διαττόντων και μετεωρίτες.

6.6 Μετεωρίτες

Οι μετεωρίτες είναι ουράνια σώματα που έλκονται από τη βαρύτητα της Γης και πέφτουν στην επιφάνεια, χωρίς να διαλυθούν πλήρως στην ατμόσφαιρα της.

Κατά την είσοδό τους στην ατμόσφαιρα ονομάζονται μετέωρα και καθώς θερμαίνονται λόγω τριβής αναφλέγονται, αφήνοντας πίσω μια λαμπρή γραμμή φωτός. Μόνο τα φωτεινότερα μετέωρα, που είναι γνωστά ως βολίδες, δίνουν μετεωρίτες, ενώ τα μικρότερα, γνωστά και ως «πεφταστέρια» ή διάττοντες αστέρες, διαλύονται τελείως εξαιτίας της τριβής με τη γήινη ατμόσφαιρα. Πολλές φορές τις νύχτες είμαστε μάρτυρες του φαινομένου αυτού, όπου ένα φωτεινό ουράνιο σώμα διατρέχει γρήγορα τον ουρανό και χάνεται μέσα σε δευτερόλεπτα.

Τα μετέωρα εμφανίζονται και με τη μορφή βροχής, που είναι γνωστή ως βροχή μετεώρων. Η βροχή αυτή προέρχεται από ένα μετεωρικό ρεύμα το οποίο περιφέρεται γύρω από τον Ήλιο και δημιουργείται από την αποσύνθεση κάποιου κομήτη. Οι βροχές αυτές παίρνουν το όνομα του αστερισμού ο οποίος βρίσκεται στην περιοχή του ουρανού στην οποία εκδηλώνονται. Έτσι έχουμε τις Περσείδες, Λεοντίδες κ.λπ.

Τα πολύ μεγάλα μετεωροειδή, όταν εισέρχονται στη γήινη ατμόσφαιρα επιβραδύνονται ελάχιστα και γι΄ αυτό δημιουργούν κρατήρες στην επιφάνεια της Γης. Αντίθετα, τα πετρώδη, φυσικά μετεωροειδή με διάμετρο μέχρι δέκα μέτρα εκρήγνυνται στη διάρκεια της πτώσης τους μέσα στη γήινη ατμόσφαιρα πριν φτάσουν στην επιφάνεια της Γης, αν και η ενέργεια που εκλύεται είναι ίση με την έκρηξη πέντε ατομικών βομβών τύπου Χιροσίμα.

Αρκετές φορές κατά το απώτερο παρελθόν ιδιαίτερα μεγάλοι μετεωρίτες έχουν φτάσει στην επιφάνεια της Γης και έχουν προκαλέσει μεγάλες εκρήξεις.

Για να επιβιώσει ένας μετεωρίτης από την τριβή με την ατμόσφαιρα της Γης θα πρέπει να είναι σχετικά μεγάλου μεγέθους. Πρακτικώς η γήινη ατμόσφαιρα προστατεύει τον πλανήτη από την εισβολή αντικειμένων διαμέτρου έως και 10-20 μέτρων και έτσι τα περιστατικά προσκρούσεων είναι σχετικά σπάνια. Μια άλλη πηγή προστασίας για τη Γη είναι οι μεγάλοι πλανήτες στις εξωτερικές τροχιές του ηλιακού συστήματος, ειδικότερα ο Δίας που με τα ισχυρά πεδία βαρύτητάς τους προσέλκουν τους τυχόν μετεωρίτες.

Τα μετέωρα που έχουν επιζήσει της πτώσης και φτάνουν ή και ανευρίσκονται στην επιφάνεια της Γής, ονομάζονται πλέον μετεωρίτες ή μετεωρόλιθοι ή αερόλιθοι (βλέπε εικ. 6.24).

Ταξινόμηση μετεωριτών:

Γενικά οι μετεωρίτες διακρίνονται σε τρεις βασικές κατηγορίες, ανάλογα της ποσοστιαίας περιεκτικότητας σε μεταλλικό σίδηρο (όχι σε ενώσεις του), οι:

1. Λιθομετεωρίτες, αποτελούμενοι κυρίως από πυριτικά ορυκτά
2. Λιθοσιδηρομετεωρίτες ή σιδηρολιθομετεωρίτες, και
3. Σιδηρομετεωρίτες (ποσοστό σιδήρου μεγαλύτερο του 70%)

Οι πρώτοι διακρίνονται επιμέρους σε χονδρίτες και αχονδρίτες.

α) Οι χονδρίτες (chondrites) είναι η σημαντικότερη υποκατηγορία των λιθωδών (μη μεταλλικών) μετεωριτών ή λιθομετεωριτών. Οι χονδρίτες είναι αδιαφοροποίητοι μετεωρίτες, δηλαδή δεν έχουν αλλοιωθεί από τήξη ή γεωλογικές-χημικές διεργασίες κατά την παραμονή τους σε ένα ουράνιο σώμα. Οι χονδρίτες πήραν την ονομασία τους από τη χαρακτηριστική δομή τους και συγκεκριμένα από την παρουσία μικρών σφαιροειδών κόκκων, που ονομάζονται χόνδροι και αποτελούνται από διακριτά ορυκτά.

β) Οι αχονδρίτες (achondrites) είναι η μία από τις δύο υποκατηγορίες των λιθωδών (μη μεταλλικών) μετεωριτών ή λιθομετεωριτών. Οι αχονδρίτες είναι διαφοροποιημένοι μετεωρίτες, δηλαδή έχουν αλλοιωθεί από τήξη και επανακρυστάλλωση, ή άλλες γεωλογικές-χημικές διεργασίες, κατά την παραμονή τους σε ένα ουράνιο σώμα. Για τον λόγο αυτόν θεωρείται ότι προέρχονται από κάποιον πλανήτη, πλανήτη νάνο ή πολύ μεγάλο αστεροειδή. Πήραν την ονομασία τους εξ αντιδιαστολής με την άλλη υποκατηγορία των λιθομετεωριτών, που είναι οι χονδρίτες και προέρχονται συνήθως από μικρούς αστεροειδείς. Χαρακτηριστικό δηλαδή ενός αχονδρίτη είναι η απουσία μικρών σφαιροειδών κόκκων, που ονομάζονται χόνδροι, στο υλικό του.



Εικόνα 6.24: Μετεωρόλιθος σε μουσείο

6.7 Ο Μεσοπλανητικός χώρος

Η εξερεύνηση του διαστημικού χώρου μεταξύ των πλανητών, με σύγχρονα μέσα και κυρίως με διαστημόπλοια έδειξε ότι ο χώρος αυτός δεν είναι κενός. Περιέχει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, πλάσμα (ηλεκτρόνια, πρωτόνια και άλλα ιόντα), κοσμικές ακτίνες, μικροσκοπικά σωματίδια σκόνης και μαγνητικό πεδίο που προέρχεται κυρίως από τον Ήλιο.

Η πυκνότητα του είναι περίπου 5 σωματίδια/cm^3 κοντά στη Γη και ελαττώνεται αντίστροφα της απόστασης από τον Ήλιο. Ωστόσο αυτή έχει μεγάλες μεταβολές και μπορεί να φτάσει μέχρι και 100 σωματίδια/cm^3.

Σε ασέληνες και σκοτεινές νύχτες ένας καλός παρατηρητής θα διακρίνει εύκολα ένα αμυδρό φως να εμφανίζεται κατά την άνοιξη μετά τη Δύση του Ήλιου, στο δυτικό ουρανό και κατά το φθινόπωρο πριν από την ανατολή του Ήλιου, στον ανατολικό ουρανό. Το φως αυτό ονομάζεται ζωδιακό φως και οφείλεται στη διάχυση των ηλιακών ακτινών στη μεσοπλανητική σκόνη. Ένα αντίστοιχο, αλλά αμυδρότερο φως, παρατηρείται στην αντίθετη με τον Ήλιο θέση. Ονομάζεται αντιζωδιακό φως και οφείλεται στον ίδιο λόγο.

Παραπομπές (References)

1. Κάτση, Α. (2007) *Μελέτη επιπέδου φυσικής ραδιενέργειας από γ ακτινοβολία, στην περιοχή Ακρωτηρίου του Νομού Χανίων*. MSc, σ. 8, dias.library.tuc.gr/view/manf/26697

2. Δεληβοριάς, Α. κ.ά. (2017) *Επτά Έλληνες αστρονόμοι και αστροφυσικοί μιλούν για την ανακάλυψη επτά «γήινων» εξωπλανητών*. Ιστοσελίδα της ΕΡΤ, Πηγή: ΑΠΕ, http://www.ert.gr/radiotileorasi/poiotita-zois-radiotileorasi/epta-ellines-astronomi-ke-astrofysiki-exigoun-schetika-me-tous-epta-giinous-exoplanites/

3. *Ταξίδι στον Άρη*. Πρόγραμμα ΠΑΜΕ ΔΙΑΣΤΗΜΑ, Υπεύθυνοι προγράμματος Μαρία Τσιοπούλου - Κώστας Τσέλιος, Συμμετέχων μαθητής Φίλιππος Σαμανόπουλος, Εσπερινό Γενικό Λύκειο Καστοριάς, 2009 – 2010, http://lyk-esp-kastor.kas.sch.gr/ekdiloseis0910/pame_diastima/taksidi.html

5. Γαβρίλης, Κ. κ.ά. (2000) *Στοιχεία Αστρονομίας & Διαστημικής*. Β΄ Ενιαίου Λυκείου, έκδοση Β΄, Ο.Ε.Δ.Β., Αθήνα, σσ. 174, 182.

ΠΗΓΕΣ ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6:

Γαβρίλης, Κ., κ.ά. (2000) *Στοιχεία Αστρονομίας & Διαστημικής.* Β΄ Ενιαίου Λυκείου, Έκδοση Β΄, Ο.Ε.Δ.Β., Αθήνα, σσ. 46 - 48, 52, 55, 62, 65.

Παπανικολάου, Δ., Σίδερης, ΧΡ. (1985) *Γεωλογία Α΄ Λυκείου*. Έκδοση Α΄, Ο.Ε.Δ.Β., Αθήνα, σσ. 13 – 14.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7:
ΤΟ ΣΥΜΠΑΝ ΚΑΙ Ο ΑΝΘΡΩΠΟΣ

«Είμαστε μια απιθανότητα σε ένα απίθανο Σύμπαν»
Ray Bradbury

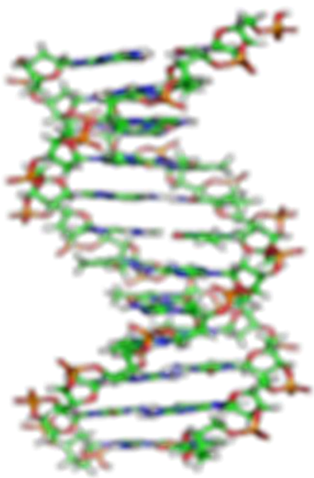


Hubble finds first organic molecule on extrasolar planet HD 189733b



People in Times Square

Το φαινόμενο της ανθρώπινης ύπαρξης και της ίδιας της ζωής είναι ένα από τα άπειρα γεγονότα στην Ιστορία του Σύμπαντος και μοιάζει απόλυτα συμβιβαστό και εναρμονισμένο με τους δεδομένους φυσικούς νόμους που διέπουν την λειτουργία του.



7.1 Η ζωή στο Σύμπαν
(α) Από το Big Bang στην εμφάνιση της ζωής

- Οι ζωντανοί οργανισμοί αποτελούνται από κύτταρα. Τα κύτταρα συγκροτούνται από μεγαλομόρια που οικοδομούνται από συνδυασμούς ατόμων στοιχείων[1].

  Η σύνθεση των ελαφρών στοιχείων ξεκίνησε στα πρώτα κιόλας στάδια της ιστορίας του Σύμπαντος.

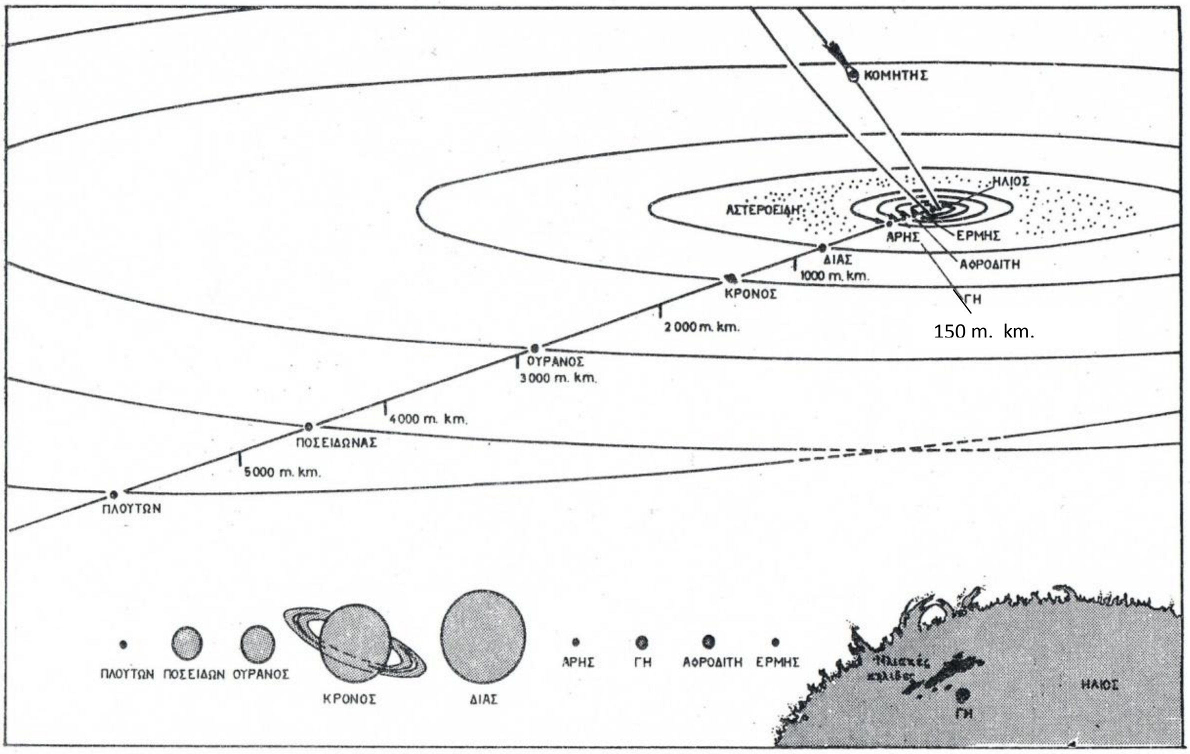
  Τα απαραίτητα όμως στοιχεία για τη ζωή που συναντάμε άφθονα στη Γη συντέθηκαν στον πυρήνα κάποιου αστέρα πολύ αργότερα. Κατά την έκρηξη του αστέρα τα άτομα των στοιχείων αυτών διαχύθηκαν στη μεσοαστρική ύλη. Από την εμπλουτισμένη με τον τρόπο αυτό μεσοαστρική ύλη, πολλά εκατομμύρια χρόνια μετά ξεκινά η δημιουργία του Ήλιου και του πλανητικού μας συστήματος. Κατά το σχηματισμό των πλανητών, οι φυσικοί νόμοι ευνόησαν την συγκέντρωση των βαρύτερων στοιχείων, κυρίως στους εσωτερικούς ή γήινους πλανήτες. Έτσι η Γη μορφοποιήθηκε από τμήματα του πλανητικού νεφελώματος που περιείχε σε σημαντικές αναλογίες όλα τα στοιχεία που συναντάμε στο Σύμπαν. Αυτή είναι μια βασική προϋπόθεση για την εμφάνιση της ζωής πάνω στη Γη, όμως δεν είναι η μοναδική. Όπως θα δούμε υπάρχουν ακόμη δύο συγκυρίες, χωρίς τις οποίες η ζωή στη Γη θα ήταν αδύνατη:
- Ο σχηματισμός των πολύπλοκων μεγαλομορίων των κυττάρων και οι μηχανισμοί των βιοχημικών αντιδράσεων μπορούν να πραγματοποιηθούν σε στενά μόνο όρια θερμοκρασιών, ούτε πολύ υψηλών ούτε πολύ χαμηλών. Η προϋπόθεση αυτή σχετίζεται με την απόσταση της Γης από τον Ήλιο (βλέπε σχ. 7.1, σελ. 271).
- Τα χρονικά διαστήματα που χρειάστηκαν για τη γένεση των ζωντανών οργανισμών και κυρίως για την ανάπτυξη του ανθρώπινου πολιτισμού είναι συγκρίσιμα με το χρόνο της ζωής ενός αστέρα. Ο Ήλιος, λόγω της μάζας του, έχει τον κατάλληλο χρόνο ζωής, μέγεθος και φασματικό τύπο που δημιούργησαν τα απαραίτητα χρονικά περιθώρια και τις κατάλληλες ενεργειακές συνθήκες για την εμφάνιση και διατήρησης της ζωής στη Γη.

  Καταλήγουμε επομένως στο συμπέρασμα ότι η ζωή και ο ανθρώπινος πολιτισμός στη Γη είναι φαινόμενα που συνέβησαν κάτω από τη σύγκλιση αρκετών προϋποθέσεων.

---

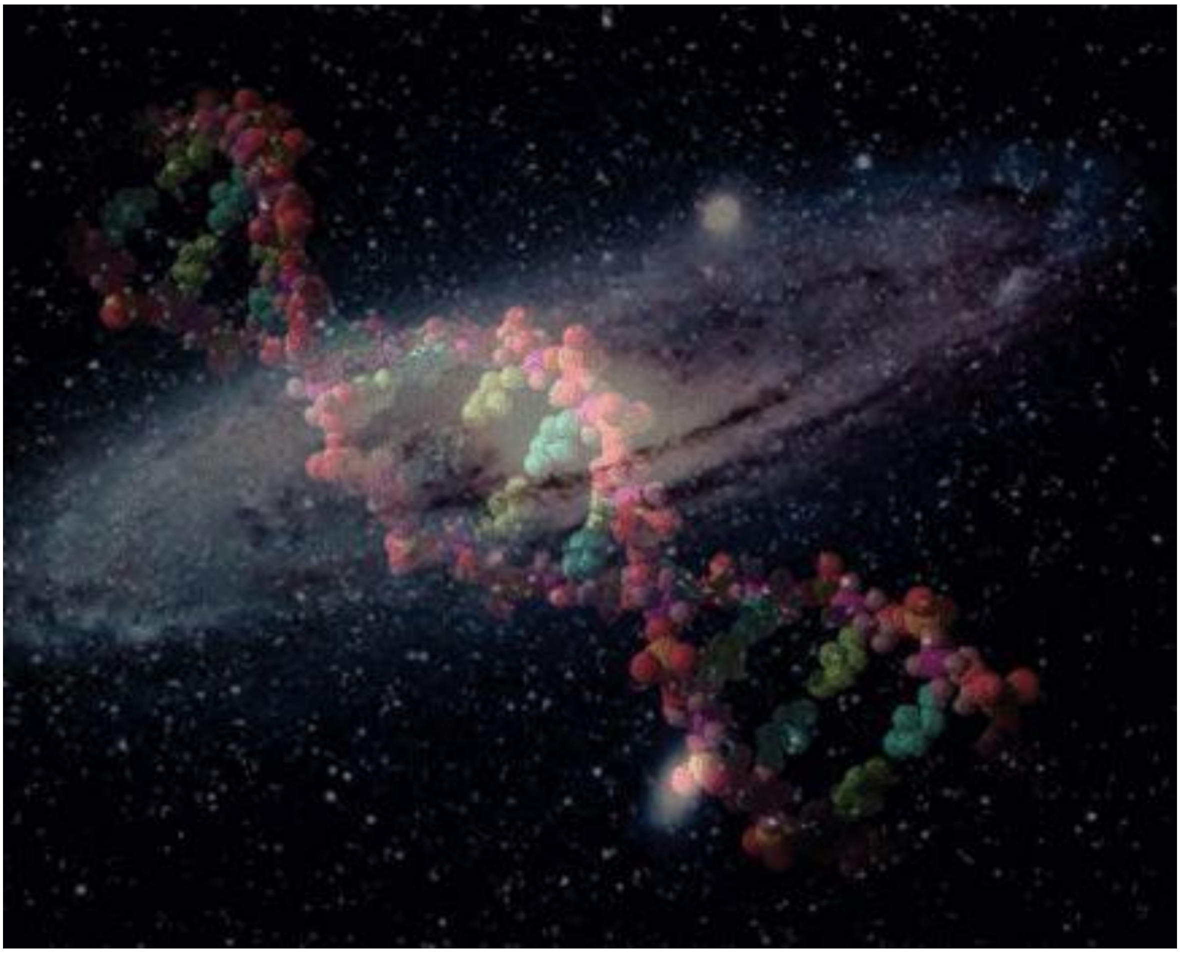
1. Το 1953 ο Στάνλεϋ Μίλλερ απέδειξε με πειράματα που έκανε, το σχηματισμό οργανικής ύλης (αμινοξέων που χρειάζονται για τη δομή βιολογικών συστημάτων), από ανόργανη ύλη. Συγκεκριμένα, πέτυχε να δημιουργήσει μια τεχνητή «αρχέγονη ατμόσφαιρα», από αμμωνία, υδρογόνο, μεθάνιο και υδρατμό, παρασκευασμένη σε δοκιμαστικό σωλήνα, όπου με την παρουσία ακτινοβολίας, (ρεύματος υψηλής συχνότητας 60,000 βολτ) δηλαδή μιας συνεχούς μικρής «αρχέγονης θύελλας», κατέστη δυνατός ο σχηματισμός αμινοβουτυρικού οξέος, ασπαραγινικού οξέος, αλανίνης και γλυκίνης, δηλαδή αμινοξέων (περισσότερες πληροφορίες δίνονται στο σύγγραμμα του Φον Νταίνικεν, Ε. (1977) «*Επισκέπτες απ΄το Σύμπαν*». Εκδόσεις Notos, Αθήνα, σσ. 38 - 40).

Σημείωση: Αμινοξέα ονομάζονται οι χημικές ενώσεις που περιέχουν μία τουλάχιστον καρβονική ομάδα (από τα καρβονικά οξέα (RCOOH) και μία τουλάχιστον αμινομάδα ($-NH_2$). Τα αμινοξέα αποτελούν τα βασικά δομικά στοιχεία των πρωτεϊνών που καθορίζουν και τις χαρακτηριστικές ιδιότητές τους. Οι *πρωτεΐνες* παίζουν σημαντικό ρόλο στη διαδικασία της ζωής.



Σχήμα 7.1: Περιληπτικό διάγραμμα του ηλιακού συστήματος. Τα σχετικά μεγέθη του ήλιου και των πλανητών φαίνονται στο κάτω μέρος της εικ. Όλες οι πλανητικές τροχιές εκτός του Πλούτωνα και του Ερμή είναι περίπου στο ίδιο επίπεδο με την τροχιά της γης.

Η πιθανότητα λοιπόν εμφάνισης ζωής στη Γη ήταν εντυπωσιακά μικρή, αφού προέκυψε από τον ευτυχή συνδυασμό πολύ ειδικών και σπάνιων περιστάσεων. Οι φυσικές σταθερές που προέκυψαν από την Μεγάλη Έκρηξη, όπως το φορτίο του ηλεκτρονίου ή η ταχύτητα του φωτός, φαίνεται να έχουν τις τέλειες τιμές ώστε να ευνοείται η γέννηση ενός σύμπαντος στο οποίο μπορεί να αναπτυχθεί συνείδηση. Αν η τιμή της βαρύτητας ή η τιμή της πυρηνικής δύναμης ήταν διαφορετικές τα αστέρια δεν θα είχαν σχηματιστεί ποτέ[2].



2. Βλέπε άρθρο των Jenkins, A. & Perez, G. (2010) «*Ψάχνοντας για ζωή στο πολυσύμπαν – Κόσμοι μέσα στο πολυσύμπαν με διαφορετικούς νόμους της φυσικής θα μπορούσαν να είναι ακόμα και κατοικήσιμοι».* Physics4u's Weblog,

https://physics4u.wordpress.com/2010/01/06/%CE%AC-%CE%AE-%CF%8D/

(β) Πιθανότητες ύπαρξης μη γήινης ζωής στο Σύμπαν

«Μερικές φορές σκέφτομαι ότι είμαστε μόνοι μας στο Σύμπαν και άλλες ότι δεν είμαστε. Σε κάθε περίπτωση, η ιδέα είναι συγκλονιστική»

Arthur Clarke

Είναι πολύ πιθανό να υπάρχουν πλανήτες στο Σύμπαν που μοιάζουν με τη Γη και είναι εύλογο να υποθέσουμε ότι σ' αυτούς έχουν αναπτυχθεί μορφές ζωής. Οι επιστημονικές απόψεις ποικίλουν σχετικά με το μέγεθος της πιθανότητας αυτής. Στον υπολογισμό της εμπλέκονται μεγέθη, τα οποία μόνο κατά προσέγγιση μπορούν να εκτιμηθούν.

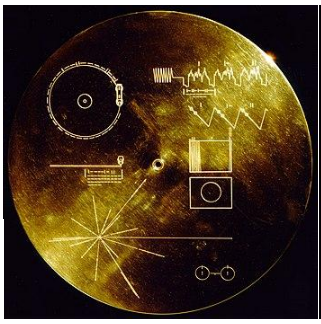
Στην προσπάθειά μας να υπολογίσουμε τον αριθμό των πολιτισμών, που πιθανόν να υπάρχουν στο Γαλαξία και οι οποίοι είναι αντίστοιχοι με τον δικό μας, θα πρέπει να λάβουμε υπόψιν τους ακόλουθους παράγοντες:

- Τον αριθμό των αστέρων του Γαλαξία που είναι παρόμοιοι με τον Ήλιο.
- Την πιθανότητα οι αστέρες αυτοί να συνοδεύονται από ένα πλανητικό σύστημα.
- Την πιθανότητα να υπάρχει πλανήτης του συστήματος που να έχει κατάλληλη τροχιά, ώστε οι θερμοκρασίες του να κυμαίνονται στα γήινα πλαίσια.
- Την πιθανότητα να εμφανιστεί κάποιο είδος ζωής, με δεδομένες τις κατάλληλες γι'αυτό το ενδεχόμενο περιβαλλοντικές συνθήκες.
- Την πιθανότητα, μέσα από μια εξελικτική διαδικασία, οι αρχικές μορφές ζωής να οδηγήσουν στην εμφάνιση νοημόνων όντων, που τελικά θα αναπτύξουν έναν πολιτισμό ανάλογο του δικού μας.
- Το χρονικό διάστημα που είναι πιθανό να επιβιώσει ένας τέτοιος πολιτισμός και να μην καταστραφεί ολοκληρωτικά είτε από εξωγενείς αιτίες είτε από τις δικές του αυτοκαταστροφικές λειτουργίες.

Βλέπουμε ότι οι πιθανότητες ύπαρξης μη γήινης ζωής στο Σύμπαν είναι αποτέλεσμα σύμπτωσης πολλών παραγόντων. Βάσει όμως της θεωρίας των πιθανοτήτων, λόγω του μεγέθους του Σύμπαντος, το ενδεχόμενο αυτό, δεν είναι απίθανο.

Ο άνθρωπος στην προσπάθεια του να ανακαλύψει πολιτισμούς εκτός Γης, έχει αναπτύξει στις Η.Π.Α. εδώ και χρόνια ένα πρόγραμμα έρευνας SETI (Search for Extraterrestrial Intelligence) για την ανίχνευση εξωγήινων πολιτισμών. Το πρόγραμμα αυτό στηρίζεται στην υπόθεση ότι: «Αν υπάρχουν εξωγήινοι πολιτισμοί σε απόσταση μερικών δεκάδων ή εκατοντάδων ετών φωτός από τη Γη, είναι πιθανό να επικοινωνήσουμε μαζί τους με ραδιοκύματα κατάλληλης συχνότητας[3]». Οι εξωγήινοι, υποστήριξαν οι επιστήμονες, είναι πιο πιθανό να επικοινωνήσουν μαζί μας σε μια συχνότητα 1420 MHz ή μήκος κύματος 21 εκατοστά. Δηλαδή στη συχνότητα εκπομπής του ατόμου του υδρογόνου, του πιο κοινού στοιχείου στο σύμπαν. Γι’ αυτό το λόγο αναπτύχθηκε ένα σύστημα ραδιοτηλεσκόπιων και κεραιών, με στόχο την εκπομπή και τη λήψη σημάτων, στα οποία θα μπορούσε κανείς να διακρίνει κάποιο μήνυμα.

Μια άλλη προσπάθεια επικοινωνείας με εξωγήινους πολιτισμούς, είναι η αποστολή του χρυσού δίσκου του Βόγιατζερ (Voyager) βλέπε εικ. 7.2α και 7.2β, ο οποίος αναφέρεται σε δυο όμοιους δίσκους αρχείου δεδομένων με ήχους και εικόνες από την Γη. Είναι προσαρμοσμένοι στα δυο διαστημικά σκάφη Βόγιατζερ 1 και Βόγιατζερ 2 που εκτοξεύθηκαν το 1977 με προορισμό τους Δίιους πλανήτες του ηλιακού μας συστήματος και κατόπιν το εξώτερον διάστημα. Στην αγγλική ορολογία ονομάζονται «Sounds of Earth». Το περιεχόμενο του δίσκου καθορίστηκε για τη ΝΑΣΑ από μία επιτροπή, με πρόεδρο τον Καρλ Σάγκαν (Carl Sagan), στο Πανεπιστήμιο Κόρνελ.



Εικόνα 7.2 α: Η εξωτερική θήκη



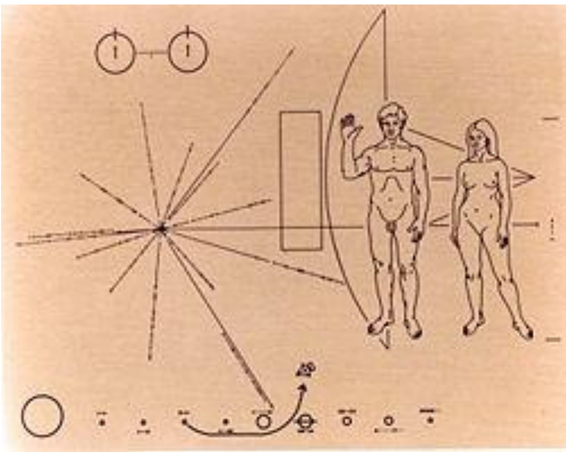
Εικόνα 7.2 β: Ο χρυσός δίσκος

Το (αρχαίο) ελληνικό χαιρετιστήριο μήνυμα είναι (με ερασμιακή προφορά):

«Οἵτινές ποτ' ἔστε χαίρετε! Εἰρηνικῶς πρὸς φίλους ἐληλύθαμεν φίλοι.»

3. Βλέπε άρθρο «*Τα 5 μεγαλύτερα μυστήρια του σύμπαντος και πως θα τα απαντήσουμε».* Physics4u’s Weblog, 10/01/2017, https://physics4u.wordpress.com/2017/01/10/%CF%84%CE%B1-5-

Ο χρυσός δίσκος του Βόγιατζερ υλοποιεί την συνεχή αναζήτηση, του ανθρώπινου είδους για κάποιον εξωγήινο πολιτισμό. Απευθύνονται σε άγνωστο παραλήπτη, και αν υποθέσουμε ότι η διάρκεια ζωής τους θα είναι γύρω στα 500 εκατομμύρια χρόνια, ίσως να μην μάθουμε ποτέ εάν εκπλήρωσαν τον σκοπό τους. Ένα παρόμοιο τεκμήριο (πινακίδα) είχε τοποθετηθεί και παλαιότερα στα Πάιονηρ (Pioneer) 10 και Πάιονηρ 11.



Εικόνα 7.3:
Άποψη της πινακίδας

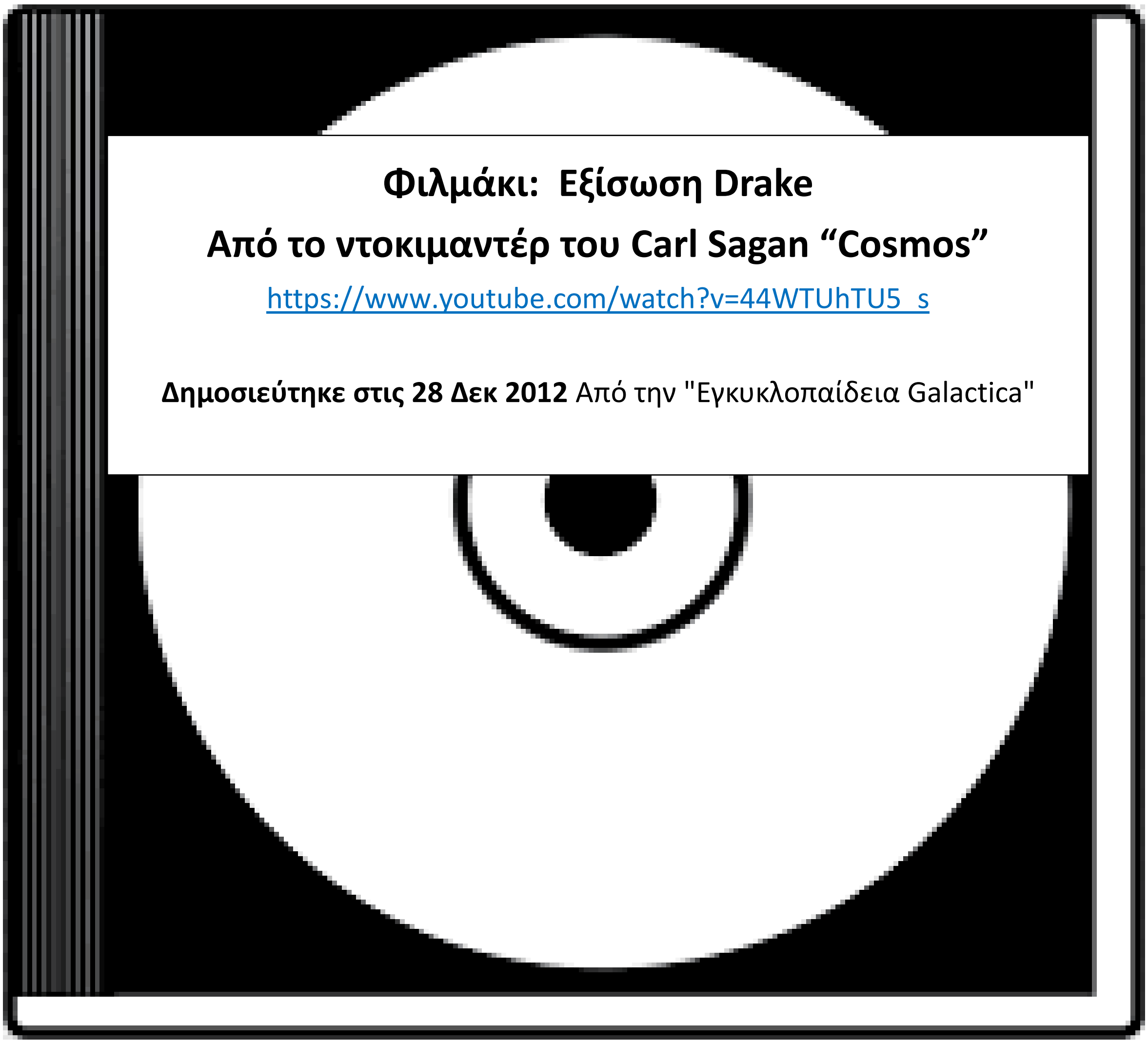
Η Χρυσή Πλάκα του Πάιονηρ είναι μια έκδοση εις διπλούν επίχρυσου πλακιδίου από αλουμίνιο, που αποτελεί εικονογραφημένο μήνυμα ειρήνης και φιλίας της ανθρωπότητας προς το Σύμπαν (βλέπε εικ 7.3).

Μέχρι στιγμής ούτε μέσω του προγράμματος SETI ούτε από άλλες αξιόπιστες πηγές έχουν υπάρξει έστω κάποιες ενδείξεις για την ύπαρξη εξωγήινων πολιτισμών.

Παρόλα αυτά, κάποιοι ισχυρίζονται ότι παρατήρησαν U.F.O. (Unidentified Flying Objects), Άγνωστης Ταυτότητας Ιπτάμενα Αντικείμενα. Αν όμως πραγματοποιείτο κάποια επίσκεψη εξωγήινων όντων, νομίζω πως θα γινόταν με τρόπο πολύ πιο φανερό, αποκαλύπτοντας έτσι τον εαυτό τους όχι μόνο σε μεμονωμένους μάρτυρες.



Τα τελευταία χρόνια σημαντικές έρευνες γίνονται για την ανακάλυψη άλλων πλανητικών συστημάτων παρόμοιων με το δικό μας. Αλλά πρέπει οπωσδήποτε να είναι πλανήτες με συνθήκες όμοιες με τις γήινες, για να έχουν ζωή; Στην πραγματικότητα η υπόθεση, ότι μπορεί να αναπτυχθεί και να διατηρηθεί ζωή μόνο σ’ ένα πλανήτη όμοιο με τη Γή, δεν έχει βάση. Γιατί να μην υπάρχουν ανώτερα ζώντα όντα, που να ευημερούν κάτω από συνθήκες που δεν μοιάζουν με τις γήινες;



Φιλμάκι: Εξίσωση Drake

Από το ντοκιμαντέρ του Carl Sagan “Cosmos”

https://www.youtube.com/watch?v=44WTUhTU5_s

Δημοσιεύτηκε στις 28 Δεκ 2012 Από την "Εγκυκλοπαίδεια Galactica"

7.2 Το μέλλον του ανθρώπινου είδους

Η κυριαρχία του ανθρώπου πάνω στη Γη έγινε απόλυτη και ολοκληρωτική κατά τον τελευταίο αιώνα, πράγμα που οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στην ανάπτυξη και ασύνετη χρήση της τεχνολογίας.

Όπως αναφέρουν ο Γαβρίλης Κ. κ.ά. στο βιβλίο τους με τίτλο Στοιχεία Αστρονομίας & Διαστημικής: «ο σύγχρονος πολιτισμός, έχοντας αρνηθεί σε μεγάλο βαθμό κάθε αξία πανανθρώπινη και διαχρονική, έχει παγιδευτεί σε μια χρηστική, συμφεροντολογική και κοντόφθαλμη λογική: Αξίζει εκείνο που αποφέρει βραχυπρόθεσμα κέρδος, και καθετί που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ικανοποιηθούν εμφυτευμένες ανάγκες. Από τους κανόνες του παιχνιδιού έχουν εκλείψει σχεδόν παντελώς εκείνοι οι περιορισμοί που αφορούν τις πραγματικές ανάγκες και το σεβασμό του συνανθρώπου και, πολύ περισσότερο, του φυσικού περιβάλλοντος».

Οι συνέπειες που προκύπτουν από τη συμπεριφορά αυτή είναι αναμφίβολα βαριές. Η σοβαρή διατάραξη του οικοσυστήματός, ο υπερπληθυσμός, ο υπερκαταναλωτισμός, αλλά και η υπερεκμετάλλευση των φυσικών πόρων του πλανήτη αποτελούν τεράστιο πλήγμα για το μέλλον του ανθρώπινου πολιτισμού.

Κάποια από τα προβλήματα θα ήταν δυνατό να αντιμετωπιστούν εάν υπήρχε η προοπτική για εποικισμό του διαστήματος (βλέπε εικ. 7.4) ή η ίδρυση αποικιών σε άλλα πλανητικά συστήματα. Μια τέτοια προοπτική παρέχει την δυνατότητα στον άνθρωπο να ονειρεύεται και να ελπίζει σε ένα καλύτερο αύριο.

Ο τρόπος σκέψης των ανθρώπων και οι σχέσεις που διατηρούν όχι μόνο μεταξύ τους, αλλά και με το φυσικό τους περιβάλλον αποτελούν καταλυτικούς παράγοντες για την επιβίωση ή τον αφανισμό του πολιτισμού μας. Η μετατροπή της Γης σε ένα φιλόξενο και ασφαλές τόπο, τόσο για μας όσο και για τις επόμενες γενιές, μπορεί να επιτευχθεί μόνο με την επιλογή ενός φυσικού και πιο ανθρώπινου τρόπου ζωής.

Εικόνα 7.4: Διαστημική αποικία



… Όλη η τεχνολογία που απαιτείται για την κατασκευή μιας διαστημικής αποικίας είναι σήμερα γνωστή.

Παραπομπές (References)

1. Φον Νταίνικεν, Ε. (1977) *Επισκέπτες απ΄το Σύμπαν*. Εκδόσεις Notos, Αθήνα, σσ. 38 – 40.

2. Jenkins, A., Perez, G. (2010) *Ψάχνοντας για ζωή στο πολυσύμπαν – Κόσμοι μέσα στο πολυσύμπαν με διαφορετικούς νόμους της φυσικής θα μπορούσαν να είναι ακόμα και κατοικήσιμοι.* Physics4u's Weblog,
https://physics4u.wordpress.com/2010/01/06/%CE%AC-%CE%AE-%CF%8D/

3. *Τα 5 μεγαλύτερα μυστήρια του σύμπαντος και πως θα τα απαντήσουμε.* Physics4u's Weblog, 10/01/2017,
https://physics4u.wordpress.com/2017/01/10/%CF%84%CE%B1-5-%CE%BC%CE%B5%CE%B3%CE%B1%CE%BB%CF%8D%CF%84%CE%B5%CF%81%CE%B1-%CE%BC%CF%85%CF%83%CF%84%CE%AE%CF%81%CE%B9%CE%B1-%CF%84%CE%BF%CF%85-%CF%83%CF%8D%CE%BC%CF%80%CE%B1%CE%BD%CF%84%CE%BF%CF%82/

ΠΗΓΕΣ ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7:

Γαβρίλης, Κ., κ.ά. (2000) *Στοιχεία Αστρονομίας & Διαστημικής.* Β΄ Ενιαίου Λυκείου, Έκδοση Β΄, Ο.Ε.Δ.Β., Αθήνα, σσ. 156 – 158.

Δερμιτζάκης, Μ., Λέκκας, Σ. (1993) *Διερευνώντας τη Γη - Εισαγωγή στη Γενική Γεωλογία.* Εκδόσεις Δέσποινα Δ. Μαυρομμάτη, Β΄ Έκδοση, Αθήνα, σ. 40.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8:
ΤΑΞΙΔΙΑ ΣΤΟ ΧΡΟΝΟ

Πολλά ταξίδια συνεχίζονται για πολύ καιρό
ακόμα αφότου έχει σταματήσει η κίνηση στο
χρόνο και στο χώρο.
John Steinbeck, 1902 - 1968, Αμερικανός
συγγραφέας, Νόμπελ 1962

8.1 Ο Χρόνος: Με τον χρόνο ασχολήθηκε τόσο η Φιλοσοφία όσο και η Επιστήμη, διαμορφώνοντας ενίοτε αντιφατικές απόψεις για το νόημά του. Δύο από τις πιο σημαντικές προσωπικότητες ανάμεσα σε άλλες, που ασχολήθηκαν με την έννοια του χρόνου ήταν ο Νεύτωνας και ο Αϊνστάιν.

> Για τον Νεύτωνα, ο χρόνος είναι μοναδικός, ενιαίος και απόλυτος για όλο το Σύμπαν. Συμβολικά, θα μπορούσε να γίνει αντιληπτός ως ο χρόνος τον οποίο μετρά ένα φανταστικό ρολόι, κάπου στο χώρο (π.χ. στο κέντρο του). Για τον Αϊνστάιν, ο χρόνος παύει να είναι απόλυτος, αφού σχετίζεται με την ταχύτητα με την οποία κινείται κάποιος (όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα, τόσο πιο αργά "κυλάει" ο χρόνος). Έτσι, στο χωροχρόνο του Αϊνστάιν δεν θα μπορούσε ποτέ να υπάρξει ένα ρολόι στο κέντρο ή σε κάποιο άλλο σημείο του Σύμπαντος σύμφωνα με το οποίο θα μπορούσαμε να ρυθμίσουμε τα ρολόγια μας[1].

Γενικά, χρόνος χαρακτηρίζεται η ακριβής μέτρηση μιας διαδικασίας, από το παρελθόν στο μέλλον. Κάθε φυσικό φαινόμενο, π.χ. μια πτώση αντικειμένου στο έδαφος, εξελίσσεται στην έννοια της ορισμένης χρονικής περιόδου. Οι καθημερινές εμπειρίες αποδεικνύουν πως ο χρόνος «κυλάει» με τον ίδιο πάντα ρυθμό και μόνο προς μια κατεύθυνση – από το παρελθόν προς το μέλλον. Η κίνηση γενικότερα ούτε μπορεί να διακοπεί αλλά ούτε να αντιστραφεί στην έννοια του χρόνου.

---

1. Βλέπε σύγγραμμα της Χαλκιά, Κ. (2006) «*Το Ηλιακό Σύστημα μέσα στο Σύμπαν – Η διαδρομή από την επιστημονική στη σχολική γνώση*». Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο, σ. 435

(α) Το βέλος του χρόνου

Το βέλος του χρόνου διακρίνει την κατεύθυνση προς το μέλλον από την κατεύθυνση προς το παρελθόν. Υπάρχουν τουλάχιστον τρία διαφορετικά βέλη του χρόνου. Υπάρχει το θερμοδυναμικό, που στρέφεται προς την κατεύθυνση όπου η αταξία αυξάνεται. Μετά υπάρχει το ψυχολογικό, που στρέφεται προς την κατεύθυνση όπου αισθανόμαστε ότι «ο χρόνος περνάει, φεύγει», και θυμόμαστε το παρελθόν αλλά όχι το μέλλον. Τέλος, υπάρχει το κοσμολογικό, που στρέφεται προς την κατεύθυνση όπου το Σύμπαν διαστέλλεται αντί να συστέλλεται[2].

8.2 Κοσμικές σήραγγες και ταξίδια στο χρόνο

«Μιλήσαμε για το χρόνο σαν να ήταν μια ευθύγραμμη σιδηροτροχιά, που πάνω της μπορεί κανείς να κινηθεί μόνον προς τη μια ή την άλλη κατεύθυνση. Αλλά, τι θα συμβεί αν αυτή η σιδηροτροχιά έχει διακλαδώσεις και σχηματίζει κλειστούς βρόχους, και κάποιο τρένο, κινούμενο μόνο προς τα εμπρός, επιστρέψει σ' ένα σταθμό απ' όπου έχει ήδη περάσει; Με άλλα λόγια, είναι δυνατόν να ταξιδέψει κανείς στο μέλλον ή στο παρελθόν;»[3]

Οι συγγραφείς έργων επιστημονικής φαντασίας διερεύνησαν αυτές τις δυνατότητες. Υποθέτουν ότι οι κοσμικές σήραγγες (8.2.2), όπως και κάθε άλλος δυνατός τρόπος ταξιδιού με ταχύτητα μεγαλύτερη αυτής του φωτός[4] (8.2.1), επιτρέπουν τα ταξίδια στο παρελθόν. Καθώς πολλές από τις υποθέσεις της επιστημονικής φαντασίας έγιναν αργότερα πρακτικές της επιστημονικής πραγματικότητας, αυτά τα σενάρια στο μέλλον ίσως γίνουν εφικτά.

---

2. Δεχόμενοι τη συνθήκη της έλλειψης ορίου του Σύμπαντος θα δούμε ότι πρέπει να υπάρχουν σαφώς καθορισμένα θερμοδυναμικά και κοσμολογικά βέλη του χρόνου, που όμως δεν πρέπει αναγκαστικά να στρέφονται πάντα προς την ίδια κατεύθυνση. Βλέπουμε όμως ότι μόνον όταν στρέφονται προς την ίδια κατεύθυνση, οι συνθήκες στο Σύμπαν είναι κατάλληλες για να αναπτυχθούν νοήμονα όντα ικανά να θέσουν το ερώτημα: Γιατί η αταξία αυξάνεται πάντα προς την ίδια κατεύθυνση του χρόνου, αυτήν όπου το Σύμπαν διαστέλλεται; (βλέπε σύγγραμμα του Hawking, S. (1997) «*Το Χρονικό του Χρόνου*». σ. 206)

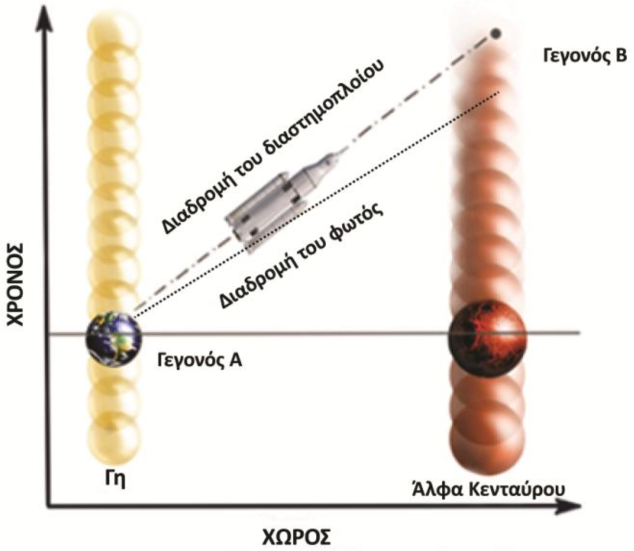
3. Βλέπε σύγγραμμα του Hawking, S. (1997) «*Το Χρονικό του Χρόνου*». Εκδόσεις Κάτοπτρο, Αναθεωρημένη Έκδοση, Αθήνα, σ. 217

4. Εξάλλου μόνο με ταχύτητα συγκρίσιμη με αυτήν του φωτός, θα είχαν νόημα για μας τους ανθρώπους τα διαστρικά ή διαγαλαξιακά ταξίδια, λόγω των τεραστίων αποστάσεων (έτη φωτός) που απέχουν τα διάφορα ουράνια σώματα από τη γη.

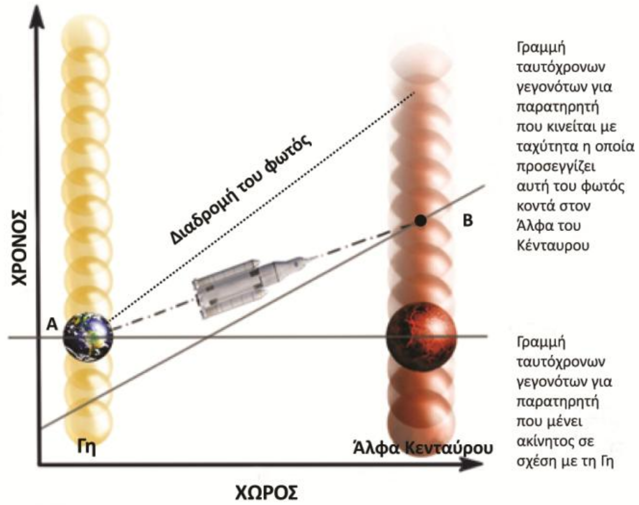
8.2.1 Ταξίδια με ταχύτητα μεγαλύτερη αυτής του φωτός

Ανεξάρτητα από τις υποθέσεις των συγγραφέων επιστημονικής φαντασίας, εάν μπορείς να ταξιδέψεις πιο γρήγορα από το φως, τότε, από τη θεωρία της σχετικότητας, υποδηλώνεται ότι μπορείς να ταξιδέψεις και πίσω στο χρόνο.

Η θεωρία της σχετικότητας λέει ακόμη ότι δεν υπάρχει ένα μοναδικό μέτρο του χρόνου στο οποίο να συμφωνούν όλοι οι παρατηρητές. Αντίθετα, ο κάθε παρατηρητής έχει το δικό του μέτρο του χρόνου (βλέπε σχ. 8.1, 8.2).



Σχήμα 8.1: Εάν ένα διαστημόπλοιο μπορεί να ταξιδέψει από το γεγονός Α στη Γη ως ένα γεγονός Β στον Άλφα του Κενταύρου με ταχύτητα μικρότερη από εκείνη του φωτός, τότε όλοι οι παρατηρητές θα συμφωνούν ότι το γεγονός Α συνέβη πριν από το γεγονός Β.



Σχήμα 8.2: Εάν δεν είναι δυνατόν ένα διαστημόπλοιο να φτάσει από το Α στο Β με ταχύτητα μικρότερη εκείνης του φωτός, οι παρατηρητές που κινούνται με διαφορετικές ταχύτητες μπορεί να μη συμφωνούν όσον αφορά το ποιο γεγονός συνέβη πρώτο.

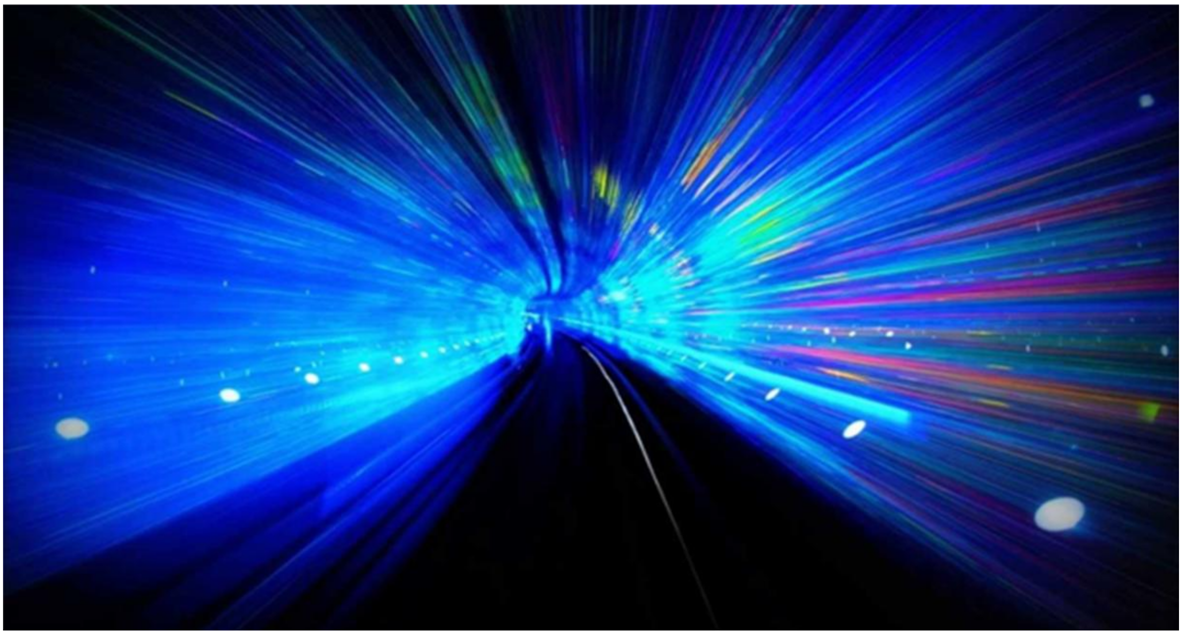
Εάν λοιπόν είναι δυνατά τα ταξίδια με ταχύτητα μεγαλύτερη από την ταχύτητα του φωτός, θα είναι επίσης δυνατόν, ο παρατηρητής που κινείται με το διαστημόπλοιο από την Γη (γεγονός Α) προς τον Άλφα του Κενταύρου (γεγονός Β), να πάει εκεί σε στιγμή προγενέστερη από τη στιγμή κατά την οποία ξεκίνησε.

<u>Σημείωση</u>: το γεγονός Β στο αστρικό σύστημα Άλφα του Κενταύρου μπορεί να συμβαίνει σε ένα οποιοδήποτε άλλο άστρο (η επιλογή έγινε από το συγγραφέα της πηγής).

Τώρα παρενθετικά, αν φανταστούμε ένα διαστημόπλοιο που ταξιδεύει με κάποιο τρόπο πιο γρήγορα από την ταχύτητα του φωτός, σε ένα (φανταστικό) ταξίδι προς ένα μακρινό πλανήτη και επιστρέφει, θα δούμε ότι: Το διαστημόπλοιο είναι πιο γρήγορο από το φως που εκπέμπει, οπότε όταν απογειωθεί, αφήνει το δικό του φως στη σκόνη του διαστήματος. Κάποια στιγμή αργότερα, το διαστημόπλοιο επιστρέφει στην πλατφόρμα προσγείωσης, αλλά επειδή το φως που εκπέμπεται πιο κοντά στη Γη είναι αυτό που ένας παρατηρητής θα πρωτοδεί, το ταξίδι του διαστημόπλοιου θα φαίνεται σε αυτόν ως μια σειρά από εικόνες που θα δείχνουν το ταξίδι του διαστημόπλοιου αντίστροφα, όπως μία ταινία που την γυρίζουμε πίσω. Εν τω μεταξύ, καθώς οι εικόνες από το εξερχόμενο ταξίδι του διαστημόπλοιου ακόμη εμφανίζονται, ο παρατηρητής μπορεί να δει τρεις εκδοχές του διαστημόπλοιου: μία εικόνα που κατευθύνεται προς τον πλανήτη, μία εικόνα που κατευθύνεται αντίστροφα από τον πλανήτη και το πραγματικό διαστημόπλοιο στην πλατφόρμα προσγείωσης. Αυτό το συμβάν ονομάζεται «συμβάν δημιουργίας ζεύγους εικόνων», επειδή το πραγματικό διαστημόπλοιο συνοδεύεται από δύο εικόνες.

Σκεφτείτε το σαν να στέλνετε ταχυδρομικώς φωτογραφίες από ένα ταξίδι διακοπών μετ΄ επιστροφής. Ακριβώς όπως το διαστημόπλοιο ταξίδευε ταχύτερα από το φως, έτσι και εσείς ταξιδεύετε ταχύτερα από το ταχυδρομείο, με αποτέλεσμα να φτάνετε πιο γρήγορα από μερικές (ή όλες) τις φωτογραφίες που αποστείλατε. Την ημέρα μετά την άφιξή σας, ο ταχυδρόμος παραδίδει δύο από τις φωτογραφίες σας: μία από το ταξίδι σας προς τον προορισμό και μία από το ταξίδι επιστροφής σας. Πρόκειται για ένα πιο γενικό συμβάν ζεύγους εικόνων: Υπάρχουν τρεις εκδοχές σας στο γραμματοκιβώτιο, αλλά μία είναι η πραγματική.

Με το σπάσιμο του φράγματος της ταχύτητας του φωτός όμως, προκύπτει ένα πρόβλημα. Η θεωρία της σχετικότητας λέει πως όταν ένα ιπτάμενο αντικείμενο, π.χ. ένα διαστημόπλοιο, πλησιάζει στην ταχύτητα του φωτός, η ισχύς που απαιτείται για την επιτάχυνσή του γίνεται όλο και μεγαλύτερη. Οι ενδείξεις που έχουμε όχι με διαστημόπλοια, αλλά με στοιχειώδη σωματίδια και επιταχυντές είναι ότι μπορούμε να επιταχύνουμε σωματίδια μόνο σε ταχύτητες μέχρι και 99.99% της ταχύτητας του φωτός. Με όση επιπλέον ενέργεια και αν τροφοδοτήσουμε τον επιταχυντή δεν μπορούμε να τα κάνουμε να ξεπεράσουν το φράγμα της ταχύτητας του φωτός (χρειάζεται άπειρη ενέργεια). Φαίνεται λοιπόν ότι αποκλείονται τόσο τα υπερταχέα διαστημικά ταξίδια όσο και τα ταξίδια πίσω στο χρόνο.



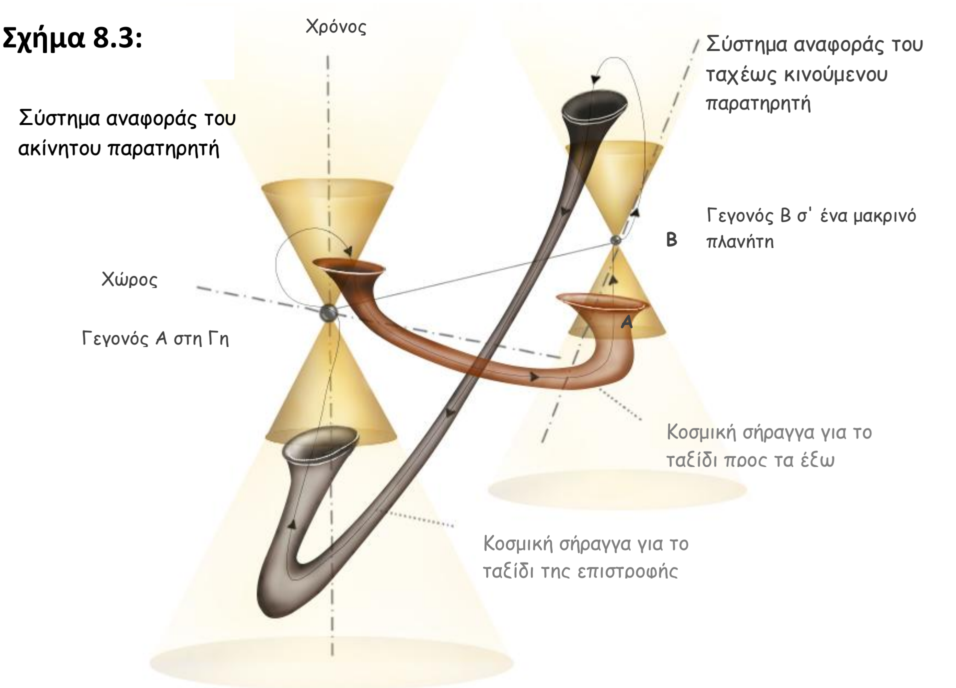
8.2.2 Κοσμικές σήραγγες

Υπάρχει όμως και μια άλλη δυνατή διέξοδος για τα ταξίδια στο χρόνο. Στην περίπτωση που θα ήταν δυνατό να στρεβλώσουμε το χωρόχρονο, θα μπορούσε μεταξύ δύο γεγονότων Α και Β να υπάρξει ένας πιο σύντομος δρόμος. Ένας τρόπος για να το επιτύχουμε είναι να δημιουργήσουμε μεταξύ του Α και του Β μια κοσμική σήραγγα. Πρόκειται για ένα λεπτό σωλήνα χωροχρόνου που μπορεί να συνδέσει δύο σχεδόν επίπεδες και απομακρυσμένες μεταξύ τους περιοχές του Σύμπαντος.

Ο Αϊνστάιν και ο N. Rosen έδειξαν με τη μελέτη της μαθηματικής λύσης για τις μαύρες τρύπες ότι η γεωμετρική ερμηνεία της λύσης αυτής έμοιαζε με το σχήμα δύο μαύρων οπών (δύο στομάτων) που συνδέθηκαν με έναν «λαιμό» (γνωστή ως γέφυρα Einstein – Rosen ή κοσμική σήραγγα).

Έχοντας ως δεδομένο την απόδειξη αυτή, δε θα ήταν παρακινδυνευμένο να φανταστούμε ότι κάποιος (ένας εξελιγμένος πολιτισμός) θα ήταν ικανός να ανακαλύψει ή να δημιουργήσει μια κοσμική σήραγγα.

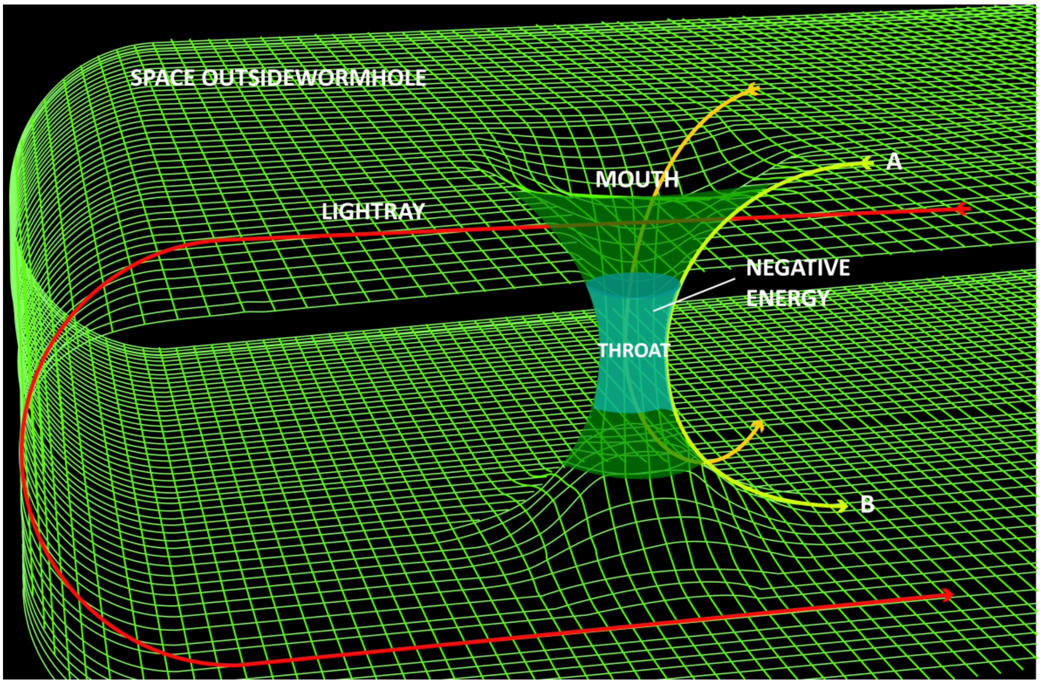
Σχήμα 8.3:



Έτσι ένας ταξιδιώτης του Διαστήματος θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει μια κοσμική σήραγγα που είναι ακίνητη σε σχέση με τη Γη, για να «κόψει» δρόμο κατά τη μετάβασή του από το γεγονός Α στο Β. Κατόπιν, να επιστρέψει μέσω μιας κινούμενης κοσμικής σήραγγας και να φτάσει στη Γη πριν από τη στιγμή κατά την οποία ξεκίνησε (βλέπε σχ. 8.3). Ακόμη θα μπορούσε διαμέσου μιας κοσμικής σήραγγας να μεταβεί και σε ένα άλλο παράλληλο σύμπαν, με την προϋπόθεση ότι υπάρχουν παράλληλα σύμπαντα (κάτι που υποστηρίζει η Κβαντική Φυσική, δηλαδή την πολλαπλή διαίρεση του σύμπαντος).

Δεν χρειάζεται να υπάρχει κάποια σχέση μεταξύ της απόστασης των άκρων της κοσμικής σήραγγας στον σχεδόν επίπεδο περιβάλλοντα χωρόχρονο και του μήκους της διαδρομής μέσα από αυτήν.

Οι γέφυρες Einstein – Rosen όμως, αποδεικνύεται ότι δεν διατηρούνται αρκετά, στενεύουν και αποκόπτονται και έτσι ένα τέτοιο ταξίδι θα κατέληγε σε μια χωροχρονική ανωμαλία.
Αυτό που χρειαζόμαστε για να μπορέσουμε να διατηρήσουμε μια κοσμική σήραγγα, στατική και αμετάβλητη στο χρόνο, ώστε να περάσει ένα διαστημόπλοιο από ένα τέτοιο τούνελ, είναι ύλη που να προσδίδει στο χωρόχρονο αρνητική καμπυλότητα («εξωτική ύλη»[5]), παρόμοια με την επιφάνεια του σαμαριού. Τέτοια ύλη έχει αρνητική ενεργειακή πυκνότητα και μια μεγάλη αρνητική πίεση, μεγαλύτερη σε μέγεθος από την ενεργειακή πυκνότητα. Η συνήθης ύλη, που έχει θετική ενεργειακή πυκνότητα (ή ισοδύναμα θετική μάζα) και πιέσεις που είναι πάντα μικρότερες από την ενεργειακή πυκνότητα σε μέγεθος προσδίδει στο χωρόχρονο θετική καμπυλότητα παρόμοια με την επιφάνεια μιας σφαίρας. Συνεπώς, για να δημιουργήσουμε μια κοσμική σήραγγα (στρέβλωση του χωροχρόνου) ώστε να επιτρέπονται τα ταξίδια στο χρόνο χρειαζόμαστε ύλη με αρνητική ενεργειακή πυκνότητα[6], όπως φαίνεται στο σχήμα 8.4.



Σχήμα 8.4: Χαρακτηριστική αναπαράσταση σκωληκοοπής (wormhole).
Η «σκουληκότρυπα» λειτουργεί ως σήραγγα μεταξύ δύο απομακρυσμένων περιοχών του σύμπαντος. Οι ακτίνες φωτός που ταξιδεύουν από το Α στο Β μπορούν να μπουν από το ένα άκρο, να περάσουν από το «λαιμό» και να βγουν από το άλλο άκρο, χρησιμοποιώντας την τρύπα σαν σύντομο δρόμο (ακριβώς γι΄αυτό δεν παραβιάζεται ο νόμος του μέγιστου της ταχύτητας του φωτός). Στο «λαιμό» της τρύπας πρέπει να υπάρχει αρνητική ενέργεια, που θα κάνει τις συγκλίνουσες ακτίνες να αρχίσουν να αποκλίνουν.

5. Βλέπε σελ. 95 - 97

6. Για τις σκουληκότρυπες βλέπε και άρθρο «*Τι είναι ακριβώς οι 'σκουληκότρυπες'; 'Εχουν αποδειχθεί ότι μπορούν να υπάρχουν ή είναι ακόμα θεωρητικές;*» Physics4u, Απρίλιος 2002, http://www.physics4u.gr/articles/2002/wormhole.html

Σημείωση: Η κβαντική θεωρία επιτρέπει στην ενεργειακή πυκνότητα κάποιων περιοχών να είναι αρνητική, αρκεί να εξισορροπείται από τη θετική ενεργειακή πυκνότητα κάποιων άλλων περιοχών, έτσι ώστε η συνολική ενέργεια του σύμπαντος να παραμένει πάντοτε θετική[7], διαφορετικά το Σύμπαν θα κατέρρεε.
Η συνολική ενέργεια του σύμπαντος ισούται με το άθροισμα των πυκνοτήτων της ύλης, της ακτινοβολίας και της σκοτεινής ενέργειας, το οποίο είναι θετικό, αφού έχει μετρηθεί από το δορυφόρο WMAP (δορυφόρος Ανισοτροπίας Μικροκυμάτων Wilkinson). Ο υπολογισμός της σκοτεινής ενέργειας έγινε με βάση την επιτάχυνση που προκαλεί στη διαστολή του σύμπαντος[8].

---

7. Βλέπε σύγγραμμα του Hawking, S. (1997) «*Το Χρονικό του Χρόνου*». Εκδόσεις Κάτοπτρο, Αναθεωρημένη Έκδοση, Αθήνα, σ. 228.

8. Βλέπε άρθρο «*Η ενεργειακή πυκνότητα του κενού*». Physics4u, Μάρτιος 2008, http://www.physics4u.gr/articles/2008/energy_density_vacuum.html

Προς το παρόν, με τη σημερινή τεχνολογία, είναι αδύνατο να «χρησιμοποιήσουμε» μια κοσμική σήραγγα για ταξίδια στο χρόνο, αλλά στο μέλλον ποιος ξέρει;

Το ερώτημα που τίθεται είναι: Μπορεί μια περιοχή του χώρου να περιέχει κάτι λιγότερο από το τίποτα; Η κοινή λογική απαντά όχι. Το πολύ – πολύ να καταφέρει κανείς να αφαιρέσει όλη την ύλη με την μορφή σωματιδίων και με την μορφή ακτινοβολίας, οπότε θα μείνει το κενό. Σύμφωνα όμως με την κβαντική φυσική τα πράγματα δεν είναι έτσι. Μια περιοχή του χώρου μπορεί πράγματι να περιέχει κάτι λιγότερο από το τίποτα! Η ενέργεια της ανά μονάδα όγκου, η ενεργειακή πυκνότητά της, μπορεί να είναι μικρότερη του μηδενός! π.χ. φαινόμενο Casimir[9].

Οι συνέπειες αυτής της δυνατότητας είναι πολύ παράξενες. Όταν λοιπόν η αρνητική ενέργεια ή μάζα (γνωστές και σαν «εξωτική ύλη») παραμορφώνει το χωροχρόνο, πολλά απίστευτα φαινόμενα μπορούν να γίνουν δυνατά, όπως: το πέρασμα μέσα από «σκουληκότρυπες» (wormholes) που είδαμε προηγουμένως, οι οποίες λειτουργούν σαν σήραγγες προς άλλα μακρινά σημεία του σύμπαντος, αλλά και οι διαστημικοί κινητήρες στρέβλωσης[10] (warp drive) που θα μπορούσαν να επιτρέψουν ταξίδια με ταχύτητα μεγαλύτερη του φωτός (χωρίς να παραβιάζουν τη σχετική αρχή της φυσικής).

Όμως οι ίδιοι οι νόμοι της φύσης που επιτρέπουν την ύπαρξη αρνητικής ενέργειας θέτουν περιορισμούς στη συμπεριφορά της. Επιστημονικές μελέτες των τελευταίων ετών αποκάλυψαν ότι πράγματι υπάρχουν πολύ αυστηροί περιορισμοί στο μέγεθος και τη διάρκεια της αρνητικής ενέργειας. Συγκεκριμένα, οι παλμοί αρνητικής ενέργειας επιτρέπονται από τη κβαντική θεωρία με τους εξής περιορισμούς: α) Όσο πιο μεγάλης διάρκειας είναι ο παλμός, τόσο πιο ασθενής πρέπει να είναι, β) ένας παλμός θετικής ενέργειας μεγαλύτερου μεγέθους πρέπει να ακολουθεί πάντοτε τον παλμό αρνητικής ενέργειας και γ) όσο πιο μεγάλο είναι το διάστημα ανάμεσα στον παλμό αρνητικής και στον παλμό θετικής ενέργειας, τόσο πιο μεγάλος πρέπει να είναι ο παλμός θετικής ενέργειας.

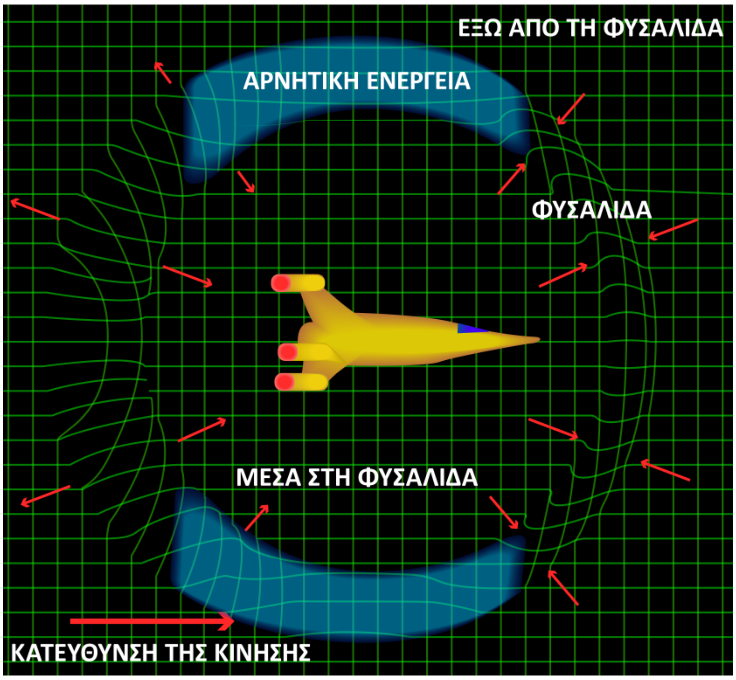
Οι περιορισμοί αυτοί, δυστυχώς για τους οπαδούς της επιστημονικής φαντασίας , φαίνεται να κάνουν αδύνατη, στο παρόν στάδιο, την κατασκευή «σκουληκότρυπων» και κινητήρων στρέβλωσης.

9. Μία μέθοδος εμφάνισης αρνητικής ενέργειας είναι αυτή που αξιοποιεί το φαινόμενο Casimir, γνωστό από το 1948: όταν δύο λείες μη φορτισμένες μεταλλικές πλάκες τοποθετηθούν πολύ (πάρα πολύ…) κοντά, τότε αποκόπτονται οι θετικές διακυμάνσεις του κενού ανάμεσα στις πλάκες με αποτέλεσμα η αρνητική ενεργειακή πυκνότητα που απομένει να ασκεί ελκτική επίδραση ανάμεσά τους (βλέπε σύγγραμμα του Davies, P. (2004) «*Χρονομηχανές».* Μεταφραστής Γραμμένος Θεοφάνης, εκδόσεις Τραυλός, Αθήνα, σ. 104, επίσης βλέπε το φαινόμενο του στο άρθρο «*Η δύναμη Casimir και η συνάρτηση ζ του Riemann».* Blog physicsgg, Posted on 02/02/2014, https://physicsgg.me/2014/02/02/h-).

10. Ένας κινητήρας «στρέβλωσης», είναι μια γεννήτρια παραγωγής βαρύτητας που αλλάζει τον χώρο, προκειμένου, τρόπον τινά, να «κόψει δρόμο» το διαστημόπλοιο στο οποίο είναι ενσωματωμένος, δημιουργεί δηλαδή μια «φυσαλίδα» γύρω από το σκάφος - ένα χώρο αποκομμένο από το υπόλοιπο διάστημα γύρω του - που θα ταξίδευε στο διαστρικό χώρο με ταχύτητες μεγαλύτερες του φωτός. Βασική αρχή για τη λειτουργία ενός τέτοιου κινητήρα είναι ότι θα προέκτεινε μπροστά από το διαστημόπλοιο ένα ηλεκτρομαγνητικό πεδίο τόσο δυνατό, που θα μπορούσε να στρεβλώσει το χωροχρόνο· έτσι θα συρρίκνωνε το διάστημα μπροστά στο διαστημόπλοιο και θα το επέκτεινε πίσω του, φέρνοντας πιο κοντά το σημείο προορισμού: φανταστείτε δύο σημεία πάνω σε ένα φύλλο χαρτί, τα οποία, όταν το χαρτί είναι απλωμένο σε ένα τραπέζι, έχουν μια απόσταση μεταξύ τους. Εάν το φύλλο διπλωθεί, τότε η απόσταση μεταξύ τους μειώνεται. Αυτή είναι η φιλοσοφία του Warp Drive και έχει το ευφυές χαρακτηριστικό ότι δεν παραβιάζει τη σχετικότητα, αλλά την παρακάμπτει. Το σκάφος, όσον αφορά το ίδιο και τη «φυσαλίδα», δεν κινείται με την ταχύτητα του φωτός, αλλά όσον αφορά έναν εξωτερικό παρατηρητή (εκτός σκάφους και «φυσαλίδας»), το σκάφος κινείται με ταχύτητες κατά πολύ μεγαλύτερες του φωτός (βλέπε άρθρο του Μαυραγάνη, Κ. (2017) *«Πώς θα μπορούσαμε να φτάσουμε στους επτά «αδελφούς» της Γης που ανακάλυψε η NASA»* Huffington Post, http://www.huffingtonpost.gr/2017/02/23/eidhseis-tech-epta-planhtes-pws-ftanoume_n_14952420.html).

Σημείωση**:** Για να λειτουργήσει ο παραπάνω κινητήρας, χρειάζεται μια μηχανή που θα παράγει τα ποσά ενέργειας που χρειάζεται το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο για να μπορέσει να στρεβλώσει τον χωροχρόνο, η οποία είναι αδύνατον να φτιαχτεί προς το παρόν, αφού τα ποσά αυτά είναι απαγορευτικά και το μέγεθος της μηχανής που απαιτείται τεράστιο.

Παρόλα αυτά η χρήση των ιδιοτήτων της αρνητικής μάζας για διαστρικά ταξίδια εξάπτει τη φαντασία των επιστημόνων. Ένα διαστημόπλοιο το οποίο εφαρμόσει τον τύπο $\vec{p} = (-m)\ \vec{u}$ θα χρησιμοποιεί θετική και αρνητική μάζα για να επιταχύνει συνεχώς. Ο Banesh Hoffman απέδειξε πως ένα σώμα μπορεί να μεταβάλει την μάζα του από θετική σε αρνητική και από αρνητική σε θετική, αν εκπέμψει ποσά ενέργειας με τη μορφή βαρυτικών κυμάτων. Έτσι, το διαστημόπλοιο θα μπορεί να αυξήσει την ταχύτητά του. Ωστόσο το διαστημόπλοιο δεν μπορεί να φτάσει ή ακόμα και να ξεπεράσει την ταχύτητα του φωτός, σύμφωνα με τον Άλμπερτ Αϊνστάιν. Όμως, το 1994 ο Μεξικανός φυσικός Miguel Alcubierre βασισμένος στους υπολογισμούς του Αϊνστάιν ανακοίνωσε πως ένα διαστημόπλοιο περιτριγυρισμένο από φυσαλίδα αρνητικής μάζας μπορεί να χρησιμοποιήσει το χωρόχρονο για να πραγματοποιήσει ταξίδια που ξεπερνάνε την ταχύτητα του φωτός (βλέπε σχ. 8.5).



Σχήμα 8.5: Η φυσαλίδα χωροχρόνου είναι το κοντινότερο ανάλογο της σύγχρονης φυσικής στους κινητήρες στρέβλωσης της επιστημονικής φαντασίας. Ο χωροχρόνος συμπιέζεται στο μπροστινό μέρος (μειώνοντας την απόσταση από τον προορισμό) και εκτείνεται στο πίσω μέρος, αυξάνοντας την απόσταση από την αφετηρία. Το διαστημόπλοιο μένει ακίνητο ως προς το χώρο μέσα στη φυσαλίδα. Αρνητική ενέργεια χρειάζεται στα πλευρά της φυσαλίδας.

<u>Σημείωση</u>: Στην προκείμενη περίπτωση είναι ο χωροχρόνος που κινείται με ταχύτητα μεγαλύτερη του φωτός, κάτι που όπως εξηγήσαμε ήδη μπορεί να συμβεί, και όχι το διαστημόπλοιο που σαν σώμα δεν μπορεί να ξεπεράσει το κοσμικό άνω όριο (c).

(α) Αρνητική μάζα

Η αρνητική μάζα είναι υποθετική μορφή ύλης, της οποίας η ύπαρξη δεν αντιτίθεται σε κάποιο νόμο της φυσικής, αλλά μόλις πρόσφατα έχει αποδειχθεί. Το 2017 έγινε η πρώτη δημιουργία αρνητικής μάζας μέσα σε επιστημονικά εργαστήρια. Οι ερευνητές, με επικεφαλής τον επίκουρο καθηγητή φυσικής Μάικλ Φορμπς (Michael Forbes) του Πολιτειακού Πανεπιστημίου της Ουάσιγκτον, που έκαναν τη σχετική δημοσίευση στο περιοδικό φυσικής «Physical Review Letters», δημιούργησαν τις συνθήκες για τη δημιουργία αρνητικής μάζας, ψύχοντας άτομα ρουβιδίου σε θερμοκρασία οριακά πάνω από το απόλυτο μηδέν (στους μείον 273,15 βαθμούς Κελσίου). Σε αυτή την κατάσταση της ύλης, γνωστή ως συμπύκνωμα Bose-Einstein, τα επιμέρους σωματίδια κινούνται υπερβολικά αργά και, ακολουθώντας τις αρχές της κβαντομηχανικής, συμπεριφέρονται σαν κύματα παρά σαν σωματίδια. Επίσης συγχρονίζονται και κινούνται ως μια ενιαία οντότητα - στην ουσία σαν ένα σωματίδιο - με τη μορφή υπερ-ρευστού που δεν έχει απώλειες ενέργειας. Στη συνέχεια, με τη βοήθεια λέιζερ, οι επιστήμονες πέτυχαν να κάνουν το ρουβίδιο να συμπεριφερθεί σαν να είχε αρνητική μάζα[11].

Η ύπαρξη αρνητικής μάζας έχει κάποιες συνέπειες που θα δούμε στη συνέχεια, για το λόγο αυτόν θα χρησιμοποιήσουμε το δεύτερο του Νεύτωνα $\vec{F} = m\vec{\alpha}$, όπου $\vec{F}$ η δύναμη που ασκείται σε ένα σώμα αδρανειακής μάζας m μετακινώντας το με επιτάχυνση $\vec{\alpha}$, καθώς επίσης, και το νόμο της βαρυτικής έλξης του ιδίου, που διατυπώνεται από την εξίσωση:

$$F = G\,\frac{m\,M}{d^2}$$

όπου F η δύναμη που ασκείται μεταξύ δύο σωμάτων βαρυτικής μάζας M και m από απόσταση d και G η σταθερά της παγκόσμιας έλξης. Και στις δύο περιπτώσεις η μάζα είναι θετική. Τι θα γινόταν όμως αν η τιμή της μάζας είχε αρνητικό πρόσημο; Εδώ ξεκινάνε και τα παράδοξα της αρνητικής μάζας.

Με χρήση του τύπου $\vec{F} = (-m)\,\vec{\alpha}$,

μπορεί κάποιος να παρατηρήσει πως κάθε φορά η δύναμη που ασκείται στο σώμα και η επιτάχυνση δεν θα έχουν την ίδια φορά αλλά αντίθετη. Αυτό σημαίνει πως αν σπρώξουμε ένα σώμα αρνητικής μάζας αυτό θα πλησιάζει προς το μέρος μας και αν το τραβήξουμε προς το μέρος μας αυτό θα απομακρυνθεί!

---

11. Η διαδικασία εξηγείται καλύτερα στο άρθρο «*Δημιούργησαν αρνητική μάζα στο εργαστήριο*». Physicsgg Φυσικοί και Φυσική από το διαδίκτυο, Posted on 17/04/2017, https://physicsgg.me/2017/04/17/%CE%B4%CE%B7%CE%BC%CE%B9%CE%BF%CF%8D%CF%81%CE%B3%CE%B7%CF%83%CE%B1%CE%BD-

Με την εφαρμογή του τύπου $F = G\,\frac{(-m)\,M}{d^2}$ παρατηρούμε πως η δύναμη F έχει αντίθετη κατεύθυνση από τον πραγματικό τύπο, τείνοντας να απομακρύνει τα δύο σώματα και η δύναμη που ασκεί η μάζα M πάνω στη μάζα -m θα είναι απωστική. Ωστόσο, σύμφωνα με τα συμπεράσματα του δεύτερου νόμου του Νεύτωνα αν ασκήσουμε μια απωστική δύναμη σε ένα σώμα αρνητικής μάζας, θα κινηθεί προς το μέρος μας. Έτσι, ένα σώμα αρνητικής μάζας δεν θα απομακρυνθεί από τη Γη, αλλά θα την πλησιάζει.

Στην περίπτωση $F = G\,\frac{(-M)\,m}{d^2}$ η δύναμη F έχει αρνητικό πρόσημο και το σώμα μάζας m θα απομακρύνεται από σώμα μάζας –M.

Αντιθέτως, στην περίπτωση $F = G\,\frac{(-M)\,(-m)}{d^2}$ η F έχει θετικό πρόσημο, αλλά και πάλι θα έχουμε απομάκρυνση του σώματος μάζας –m από εκείνο με μάζα –M.

Ακόμη μπορούμε να δούμε τις συνέπειες της αρνητικής μάζας αν εξετάσουμε την ορμή ενός κινούμενου σώματος.

Ο μαθηματικός τύπος που την υπολογίζει είναι:

$\vec{p} = m \cdot \vec{u}$

όπου m η μάζα του σώματος και $\vec{u}$ η ταχύτητα του. Έτσι αν υποθέσουμε ότι ισχύει ο τύπος

$\vec{p} = (-m) \cdot \vec{u}$

τότε μια σφαίρα θετικής μάζας θα έλξει μια σφαίρα αρνητικής μάζας, ενώ αντίθετα η σφαίρα αρνητικής μάζας θα απωθεί τη σφαίρα θετικής μάζας. Οι δυνάμεις πάνω στις σφαίρες θα βρίσκονται προς μια κατεύθυνση, όπως επίσης και οι επιταχύνσεις των σφαιρών. Τότε η σφαίρα αρνητικής μάζας θα κυνηγάει τη σφαίρα θετικής μάζας και οι ταχύτητες τους θα αυξάνονται συνέχεια!

Η Αρχή Διατήρησης της Ενέργειας προβλέπει ότι η συνολική ενέργεια ενός συστήματος σωμάτων παραμένει σταθερή. Στη συγκεκριμένη περίπτωση οι δύο σφαίρες ήταν αρχικά ακίνητες, άρα η συνολική ενέργεια ήταν μηδέν. Στη συνέχεια, λόγω της έλξης, απέκτησαν και οι δύο κινητική ενέργεια που υπολογίζεται από τον τύπο

$E = 1/2m \cdot u^2$

όπου με u συμβολίζεται η ταχύτητα της σφαίρας. Έτσι, η σφαίρα με την θετική μάζα απέκτησε θετική κινητική ενέργεια και η σφαίρα με την αρνητική μάζα απέκτησε αρνητική κινητική ενέργεια. Έτσι, το άθροισμα είναι μηδέν και δεν παραβιάζεται η Αρχή Διατήρησης της Ενέργειας.

- Πρέπει όμως να παραδεχτούμε ότι, καθώς σήμερα η έρευνα για τις προαναφερθείσες ή άλλες νέες τεχνολογίες που θα μας επιτρέψουν να ξεπεράσουμε τα εμπόδια της απόστασης και της ταχύτητας, βρίσκεται ακόμη σε αρχικά στάδια, η πραγματοποίηση διαστρικών ταξιδιών είναι προς το παρόν ανέφικτη.

8.3 Το Παράδοξο του παππού

Ένα άλλο ζήτημα που σχετίζεται με τα ταξίδια στο χρόνο είναι το παράδοξο του παππού, σύμφωνα με το οποίο ο ταξιδιώτης του χρόνου πηγαίνει πίσω στο χρόνο και είτε ηθελημένα είτε άθελα δολοφονεί τον παππού του, αφού δεν υπήρχε καμία περίπτωση να τον αναγνωρίσει. Το πρόβλημα είναι τότε προφανές. Αν π.χ. ο παππούς του πεθάνει, προτού γεννηθεί ο ίδιος, τότε ο χρονοταξιδιώτης δεν θα έχει υπάρξει ποτέ. Όμως στην περίπτωση αυτή είναι αδύνατον να διαπράξει τη δολοφονία. Άρα, αν ο παππούς ζήσει, στο μέλλον θα δολοφονηθεί, αλλά αν πεθάνει, στο μέλλον δεν θα δολοφονηθεί. Σε κάθε περίπτωση καταλήγουμε σε αντιφάσεις. Παράδοξα όπως αυτό προκύπτουν επειδή το παρελθόν συνδέεται αιτιακά με το μέλλον.

Για καλύτερη κατανόηση το παράδοξο περιγράφεται και ως εξής: Ο ταξιδιώτης του χρόνου πάει πίσω στον χρόνο την περίοδο όπου ο παππούς δεν έχει παντρευτεί ακόμα και τον σκοτώνει. Ως αποτέλεσμα, ο ταξιδιώτης δεν γεννήθηκε ποτέ. Αν δεν γεννήθηκε ποτέ, τότε δεν μπόρεσε να ταξιδέψει στο χρόνο και να σκοτώσει τον παππού του, που σημαίνει ότι ο ταξιδιώτης γεννήθηκε τελικά.

Παρά το όνομα, το παράδοξο του παππού δεν αναφέρεται αποκλειστικά στην αδυναμία της γέννησης κάποιου. Αντίθετα, αναφέρεται σε οποιαδήποτε πράξη που θα έκανε το ταξίδι στο χρόνο ανέφικτο από την αρχή.

Για την αντιμετώπιση των παράδοξων καταστάσεων που δημιουργούνται από τα ταξίδια στο παρελθόν υπάρχουν δυο διαδεδομένες λύσεις. Η πρώτη οφείλεται στον Ρώσο Θεωρητικό Φυσικό και Κοσμολόγο Igor D. Novikov, ο οποίος ισχυρίζεται πως αν μια οποιαδήποτε επέμβαση στο παρελθόν πρόκειται να «διαταράξει» την ιστορία, τότε αποκλείεται να πραγματοποιηθεί. Αυτό που ισχυρίζεται στην πραγματικότητα ο Novikov είναι ότι σε καμιά περίπτωση, ακόμη και να θέλουμε να αλλάξουμε το ρου της ιστορίας για προφανείς λόγους, δεν μπορούμε να επέμβουμε στο παρελθόν. Το σχέδιό μας θα αποτύχει, όσο έξυπνο και καλά προετοιμασμένο και αν είναι. Δηλαδή βάσει του Novikov δεν θα συμβεί ποτέ σε ένα ταξίδι μας στο παρελθόν να γίνουμε αιτία να δολοφονηθεί ο παππούς μας.

Η δεύτερη λύση στηρίζεται στην υπόθεση των πολλαπλών συμπάντων του Αμερικανού Φυσικού Hugh Everett (1930 - 1982) και αποτελεί μια απόπειρα ερμηνείας των παραδοξοτήτων που παρατηρούνται στον κβαντικό μικρόκοσμο. Εφαρμοσμένη στο πλαίσιο των ταξιδιών στο παρελθόν, μας λέει πως για κάθε νέα παράμετρο που εισάγεται στην ιστορία, αυτόματα δημιουργείται άλλο ένα σύμπαν. Το νέο αυτό σύμπαν είναι ίδιο με αυτό από το οποίο προήλθατε, εώς τη στιγμή που πραγματοποιήσατε την όποια επέμβαση. Από κει και πέρα, οι ιστορίες των δύο συμπάντων διαφέρουν. Εσείς γνωρίζετε την ιστορία εκείνου από το οποίο ξεκινήσατε. Αλλά η ιστορία στο νέο σύμπαν έχει εξελιχθεί διαφορετικά, εξαιτίας της αλλαγής που κάνατε. Έτσι, ακόμη και αν πάτε μερικά χρόνια πίσω και δολοφονήσετε τον παππού σας, στο ένα σύμπαν θα συνεχίσετε να υπάρχετε ενώ στο άλλο όχι[12].

---

12. Βλέπε άρθρο «*Τα παράλληλα σύμπαντα μπορούν να είναι κρυμμένα μέσα στις τέσσερις διαστάσεις».* Physics4u, 18/05/2011, http://physics4u.gr/blog/2011/05/18/%CE%AC-%CF%8D-%CF%8D-%CE%AFio/

Αναγνωρίζοντας τις φυσικές, τεχνολογικές και λογικές δυσκολίες που συνεπάγεται η κατασκευή μιας μηχανής του χρόνου και τις επιπλοκές των ταξιδιών στον χωρόχρονο, ο Χόκινγκ πρότεινε επιπρόσθετα πριν από μερικά χρόνια την «υπόθεση διαφύλαξης της χρονολογικής τάξης». Ούτε λίγο ούτε πολύ, ο μεγάλος Βρετανός θεωρητικός φυσικός υποστηρίζει ότι όλοι οι γνωστοί φυσικοί νόμοι συνωμοτούν ώστε να εμποδίζουν τα μακροσκοπικά αντικείμενα (όπως εμείς οι άνθρωποι) να ταξιδεύουν στον χρόνο. Το περίεργο είναι ότι ο ανθρώπινος νους, αυτή η πολύπλοκη βιολογική χρονομηχανή, παραβιάζει καταφανώς και συστηματικά κάθε χρονικό περιορισμό, της «απαγορευτικής αρχής» του Χόκινγκ[13].

---

13. Βλέπε απαγορευτική αρχή του στο άρθρο «*Χρονομηχανές και ταξίδια στο χρόνο*». Physicsgg, Posted on 15/01/2011, https://physicsgg.me/2011/01/15/%CF%87%CF%81%CE%BF%CE%BD%CE%BF%CE%BC%CE%B7%CF%87%CE%B1%CE%BD%CE%AD%CF%82-%CE%BA%CE%B1%CE%B9-%CF%84%CE%B1%CE%BE%CE%AF%CE%B4%CE%B9%CE%B1-%CF%83%CF%84%CE%BF-%CF%87%CF%81%CF%8C%CE%BD%CE%BF/

Παραπομπές (References)

1. Χαλκιά, Κ. (2006) *Το Ηλιακό Σύστημα μέσα στο Σύμπαν – Η διαδρομή από την επιστημονική στη σχολική γνώση.* Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο, σ. 435.

2. Hawking, S. (1997) *Το Χρονικό του Χρόνου,* σ. 206.

3. Hawking, S. (1997) *Το Χρονικό του Χρόνου*. Εκδόσεις Κάτοπτρο, Αναθεωρημένη Έκδοση, Αθήνα, σ. 217.

6. Τι είναι ακριβώς οι 'σκουληκότρυπες'; 'Εχουν αποδειχθεί ότι μπορούν να υπάρχουν ή είναι ακόμα θεωρητικές; Physics4u, Απρίλιος 2002, http://www.physics4u.gr/articles/2002/wormhole.html

7. Hawking, S. (1997) *Το Χρονικό του Χρόνου*. Εκδόσεις Κάτοπτρο, Αναθεωρημένη Έκδοση, Αθήνα, σ. 228.

8. *Η ενεργειακή πυκνότητα του κενού.* Physics4u, Μάρτιος 2008, http://www.physics4u.gr/articles/2008/energy_density_vacuum.html

9. Davies, P. (2004) *Χρονομηχανές.* Μεταφραστής Γραμμένος Θεοφάνης, εκδόσεις Τραυλός, Αθήνα, σ. 104

9. *Η δύναμη Casimir και η συνάρτηση ζ του Riemann.* Blog physicsgg, Posted on 02/02/2014, https://physicsgg.me/2014/02/02/h-%ce%b4%cf%8d%ce%bd%ce%b1%ce%bc%ce%b7-casimir-%ce%ba%ce%b1%ce%b9-%ce%b7-%cf%83%cf%85%ce%bd%ce%ac%cf%81%cf%84%ce%b7%cf%83%ce%b7-%ce%b6-%cf%84%ce%bf%cf%85-riemann/

10. Μαυραγάνης, Κ. (2017) *Πώς θα μπορούσαμε να φτάσουμε στους επτά «αδελφούς» της Γης που ανακάλυψε η NASA;* Huffington Post, http://www.huffingtonpost.gr/2017/02/23/eidhseis-tech-epta-planhtes-pws-ftanoume_n_14952420.html

11. *Δημιούργησαν αρνητική μάζα στο εργαστήριο.* Physicsgg Φυσικοί και Φυσική από το διαδίκτυο, Posted on 17/04/2017, https://physicsgg.me/2017/04/17/%CE%B4%CE%B7%CE%BC%CE%B9%CE%BF%CF%8D%CF%81%CE%B3%CE%B7%CF%83%CE%B1%CE%BD-%CE%B1%CF%81%CE%BD%CE%B7%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE-%CE%BC%CE%AC%CE%B6%CE%B1-%CF%83%CF%84%CE%BF-%CE%B5%CF%81%CE%B3%CE%B1%CF%83/

12. *Τα παράλληλα σύμπαντα μπορούν να είναι κρυμμένα μέσα στις τέσσερις διαστάσεις.* Physics4u, 18/05/2011, http://physics4u.gr/blog/2011/05/18/%CE%AC-%CF%8D-%CF%8D-%CE%AFio/

13. *Χρονομηχανές και ταξίδια στο χρόνο.* Physicsgg, Posted on 15/01/2011, https://physicsgg.me/2011/01/15/%cf%87%cf%81%ce%bf%ce%bd%ce%bf%ce%bc%ce%b7%cf%87%ce%b1%ce%bd%ce%ad%cf%82-%ce%ba%ce%b1%ce%b9-%cf%84%ce%b1%ce%be%ce%af%ce%b4%ce%b9%ce%b1-%cf%83%cf%84%ce%bf-%cf%87%cf%81%cf%8c%ce%bd%ce%bf/?relatedposts_hit=1&relatedposts_origin=38476&relatedposts_position=2

ΠΗΓΕΣ ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8:

Russell, D. (2015) *Can you really go back in time by Breaking the speed of light?* Blog: The Nature of Reality, http://www.pbs.org/wgbh/nova/blogs/physics/2015/08/can-you-really-go-back-in-time-by-breaking-the-speed-of-light/

Τα παράλληλα σύμπαντα μπορούν να είναι κρυμμένα μέσα στις τέσσερις διαστάσεις. Physics4u, 18/05/2011,
http://physics4u.gr/blog/2011/05/18/%CE%AC-%CF%8D-%CF%8D-%CE%AFio/

Hawking, S. (1997) *Το Χρονικό του Χρόνου.* Εκδόσεις Κάτοπτρο, Αναθεωρημένη Έκδοση, Αθήνα, σσ. 205 - 206, 217, 220 - 227.

Χρονομηχανές και ταξίδια στο χρόνο. Physicsgg, Posted on 15/01/2011,
https://physicsgg.me/2011/01/15/%cf%87%cf%81%ce%bf%ce%bd%ce%bf%ce%bc%ce%b7%cf%87%ce%b1%ce%bd%ce%ad%cf%82-%ce%ba%ce%b1%ce%b9-%cf%84%ce%b1%ce%be%ce%af%ce%b4%ce%b9%ce%b1-%cf%83%cf%84%ce%bf-%cf%87%cf%81%cf%8c%ce%bd%ce%bf/?relatedposts_hit=1&relatedposts_origin=38476&relatedposts_position=2

ΕΠΙΛΟΓΟΣ:
ΘΡΗΣΚΕΙΑ ΚΑΙ ΕΠΙΣΤΗΜΗ

«Η επιστήμη χωρίς θρησκεία είναι κουτσή. Η θρησκεία χωρίς επιστήμη είναι τυφλή».

Αλβέρτος Αϊνστάιν, 1879 - 1955,

Γερμανοεβραίος φυσικός

Οι βασικές αρχές της επιστήμης της Κοσμολογίας που έχουμε μελετήσει, εύλογα μας δημιουργούν ερωτήματα για το οντολογικό της δημιουργίας του Σύμπαντος. Παρακάτω, παραθέτουμε αποσπάσματα από το βιβλίο του Ν. Π. Βασιλειάδη «Η χριστιανική πίστις στον αιώνα της επιστήμης» μέσα από τα οποία διαφαίνεται η ερμηνεία που αποδίδει η θρησκεία μας για την δημιουργία του Σύμπαντος: «Αί φυσικαί επιστήμαι με το να ανακαλύπτουν τας αρχάς, αι οποίαι διέπουν το σύμπαν, μας αποκαλύπτουν τον θαυμαστόν τρόπον, με τον οποίον κινείται και λειτουργεί το σύμπαν. Οι αρχές αυτές δεν ακολουθούν τυφλά ένα απόλυτα μηχανιστικό τρόπο, αλλά όπως διαφαίνεται το πάνσοφον σχέδιον, το οποίο έχει θέσει μια εξαιρετική προσωπικότητα». Επομένως μας υποχρεώνουν να υποθέσουμε, ότι υπάρχει ο μέγας Νους, αυτή η εξαιρετική προσωπικότητα, η οποία δημιούργησε και διευθύνει με άπειρον σοφίαν τον κόσμον.

Διαπιστώνει λοιπόν ο Ν. Π. Βασιλειάδης τη σύνδεση των φυσικών επιστημών με τη θρησκεία, η οποία στην προσωπικότητα αυτή βλέπει το πρόσωπο του Θεού: «Ενώ οι κύκλοι επιστήμης και θρησκείας τέμνονται, το κέντρον του κάθε κύκλου ευρίσκεται εκτός της περιοχής του άλλου, ένεκα της ειδικής και ξεχωριστής αποστολής, την οποίαν έχουν θρησκεία και επιστήμη. Για αυτό το λόγο, οι εκπρόσωποι της πίστεως και της επιστήμης πρέπει να έχουν σαφή συνείδηση των ορίων, μέσα εις τα οποία οφείλουν να κινούνται. Ακόμη οι άνθρωποι της θρησκείας πρέπει να διακρίνουν το ουσιώδες από το επουσιώδες, το γνήσιο περιεχόμενο της πίστεως, από κάθε τι το οποίο δεν είναι της αρμοδιότητάς τους». Τότε, υποστηρίζει ο Ν. Π. Βασιλειάδης «τίποτε δεν εμποδίζει τον σύγχρονον άνθρωπον από του να θρησκεύη και ταυτοχρόνως να καλλιεργή και να υπηρετή και την επιστήμην».

Από τα όσα αναφέρει ο Ν. Π. Βασιλειάδης και τα όσα προκύπτουν από τις θεωρίες που αναπτύξαμε, είναι φανερό ότι η δυνατότητα που έχει το Σύμπαν μας να εξελιχθεί με τον τρόπο που εξελίχθηκε πρέπει να οφείλεται σε μια Ανώτερη Δύναμη.

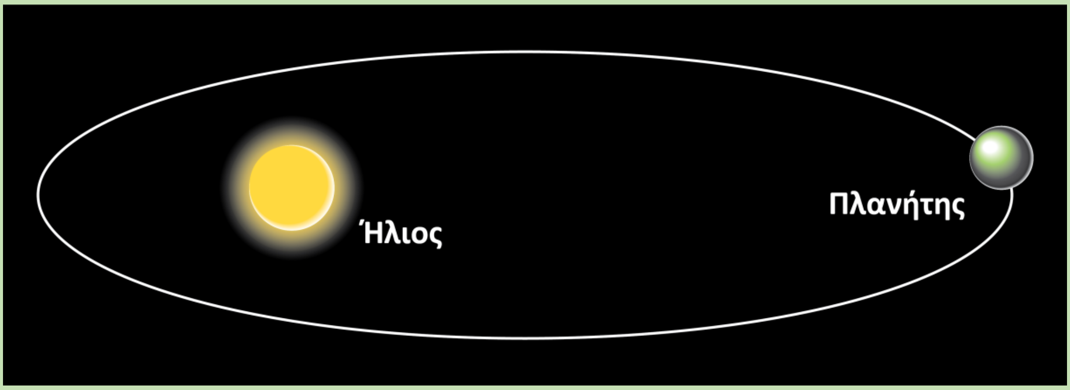


Πηγή: Βασιλειάδης, Ν. (1997) *Η χριστιανική πίστις εις τον αιώνα της επιστήμης*. Αδελφότης Θεολόγων «Ο Σωτήρ». Έκδοση εβδόμη, Αθήναι, σ. 36.

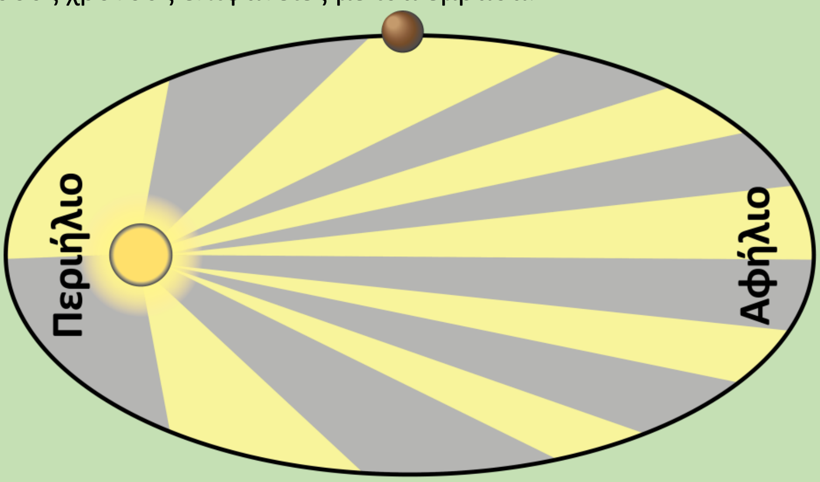
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

ΟΙ ΝΟΜΟΙ ΤΟΥ ΚΕΠΛΕΡ

Πρώτος νόμος:
Οι τροχιές των πλανητών είναι ελλείψεις, στη μια εστία των οποίων βρίσκεται ο Ήλιος.



Δεύτερος νόμος:
Η ακτίνα που συνδέει τον Ήλιο με τον πλανήτη κατά την κίνησή του γύρω απ' αυτόν διαγράφει σε ίσους χρόνους επιφάνειες με ίσα εμβαδά.



Τρίτος νόμος:
Ο λόγος του τετραγώνου του χρόνου περιφοράς ενός πλανήτη γύρω από τον Ήλιο προς τον κύβο του μεγάλου ημιάξονα της τροχιάς του (μέση ακτίνα) είναι σταθερός.

$$\frac{T^2}{A^3} = \text{σταθερό}$$

T = χρόνος περιφοράς
A = μήκος του μεγάλου ημιάξονα της τροχιάς

ΟΙ ΝΟΜΟΙ ΤΟΥ ΝΕΥΤΩΝΑ

1ος νόμος:
Κάθε σώμα, στο οποίο δεν ασκείται καμία δύναμη ή η συνισταμένη όλων των δυνάμεων είναι μηδέν, παραμένει ακίνητο ή κινείται με σταθερή ταχύτητα.
2ος νόμος:
Κάθε σώμα στο οποίο ασκείται μια εξωτερική δύναμη F αποκτά επιτάχυνση α, σύμφωνα με τη σχέση:

$$\mathrm{F} = \mathrm{m} \cdot \alpha$$

3ος νόμος:
Όταν δύο σώματα αλληλεπιδρούν χωρίς στο σύστημα τους να ασκούνται εξωτερικές δυνάμεις, η δύναμη που ασκείται από το πρώτο στο δεύτερο είναι αντίθετη προς τη δύναμη που ασκείται από το δεύτερο στο πρώτο.

Ο νόμος της παγκόσμιας έλξης:
Κάθε σώμα έλκει κάθε άλλο με μια δύναμη που έχει τη διεύθυνση της ευθείας που διέρχεται από τα κέντρα των δύο σωμάτων, είναι ανάλογη προς το γινόμενο των μαζών τους και αντιστρόφως ανάλογη προς το τετράγωνο της απόστασης τους.

$$\mathrm{F} = \mathrm{G}\frac{m_1 . m_2}{r^2}$$

Όπου G η παγκόσμια σταθερά της βαρύτητας:
$G = 6{,}67 \cdot 10^{-8}\ cm^3\ g^{-1}\ s^{-2}$

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2

ΦΥΣΙΚΕΣ ΣΤΑΘΕΡΕΣ	
Παγκόσμια σταθερά της βαρύτητας	$G = 6{,}6726 \text{ X } 10^{-8}\ cm^{3}\ gr^{-1} \cdot sec^{-2}$
Ταχύτητα του φωτός στο κενό	$c = 2{,}9979 \text{ X } 10^{10}\ cm \cdot sec^{-1}$
Σταθερά του Planck	$h = 6{,}62608 \text{ X } 10^{-27} erg \cdot sec$
Σταθερά του Wien	$\sigma_w = 2{,}898\ cm \cdot K$
Σταθερά του Boltzmann	$k = 1{,}380658 \text{ X } 10^{-16}\ erg \cdot grad^{-1}$
Σταθερά των Stefan - Boltzmann	$\sigma = 6{,}6697 \text{ X } 10^{-5}\ erg\ cm^{-2} \cdot sec^{-1} \cdot grad^{-4}$
Μάζα πρωτονίου	$m_p = 1{,}6726231 \text{ X } 10^{-24}\ gr$
Μάζα νετρονίου	$m_n = 1{,}6726321 \text{ X}0^{-24}\ gr$
Μάζα ηλεκτρονίου	$m_e = 9{,}1093897 \text{ X } 10^{-28} gr$
Μάζα του ατόμου του υδρογόνου	$m_H = 1{,}673534 \text{ X}10^{-24}\ gr$

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3

ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	
Αστρονομική μονάδα	1 A.U. = 1,4959789 X 10^{13} cm
Έτος φωτός	1 1.y. = 9,46053 X 10^{17} cm
Παρσέκ	1 pc = 206.265 A.U. = 3,262 ε.φ. = 3,0857 X 10^{18} cm
Αστρικό έτος	= 3,155815 X 10^{7} sec
Τροπικό έτος	= 3,155693 X 10^{7} sec
Μέση αστρική ημέρα	= 23h 56m 04,09054s
Ηλιακή ημέρα	= 86.400 sec
Μάζα του Ηλίου	= 1,989X 10^{33} gr
Ισημερινή ακτίνα του Ηλίου	= 6,9599 X 10^{10} cm
Φωτεινότητα του Ηλίου	= 3,82 X 10^{33} erg · sec^{-1}
Ενεργός θερμοκρασία του Ηλίου	= 5770 K
Ηλιακή σταθερά	S = 1,36 X 10^{3} Watt · m^{-2}
Φαινόμενο οπτικό μέγεθος του Ηλίου	m_H = -26,8
Απόλυτο οπτικό μέγεθος του Ηλίου	m_H = 4,8
Μάζα της Γης	= 5,9742 X 10^{27} gr
Ισημερινή ακτίνα της Γης	= 6,37814 X 10^{8} cm
Μάζα της Σελήνης	= 7,348 X 10^{25} gr
Ακτίνα της Σελήνης	= 1,738 X 10^{8} cm

Πηγή: Γαβρίλης Κ., κ.ά. (2000) *Στοιχεία Αστρονομίας & Διαστημικής.* Β΄ Ενιαίου Λυκείου, Έκδοση Β΄, Ο.Ε.Δ.Β., Αθήνα, σσ. 42, 45, 161

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΕΛΛΗΝΟΓΛΩΣΣΗ - ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

Αϊνστάιν, Α. – *Η θεωρία της σχετικότητας.* Μετάφραση Σταύρος Μαρουλάκος, εκδόσεις Κορόντζη, σ. 20.

Αλεξόπουλος, Κ., Μαρίνος, Δ. (1978) *Φυσική: Οπτική - Ηλεκτρομαγνητισμός - Ατομική και Πυρηνική Φυσική*. Τόμος δεύτερος, έκδοση πρώτη, Αθήναι, σσ. 402.

Ανδρακάκος, Κ., Βελέντζας, Α., Γάτσιος, Ι., Διαμαντής, Ν., Δρης, Ε., Κρίκος, Κ., Πιερράκος, Ν. *(2008) Φυσική της Γ΄ Λυκείου - Θετικής και Τεχνολογικής Κατεύθυνσης.* Ο.Ε.Δ.Β., Αθήνα, σσ. 263 – 264.

Αραμπάτζης, Θ., Βερνίκος, Σ., Γαβρόγλου, Κ., Διαλέτης, Δ., Κανδεράκης, Ν., Χριστιανίδης, Γ. (1999) *Ιστορία των Επιστημών και της Τεχνολογίας.* Γ΄ Ενιαίου Λυκείου, Ο.Ε.Δ.Β., Αθήνα, σσ. 22 – 23.

Βασιλειάδης, Ν. (1997) *Η χριστιανική πίστις εις τον αιώνα της επιστήμης.* Αδελφότης Θεολόγων «Ο Σωτήρ», έκδοση εβδόμη, Αθήναι.

Γαβρίλης, Κ., Μεταξά, Μ., Νίαρχος, Π., Παπαμιχάλης, Κ. (2000) *Στοιχεία Αστρονομίας & Διαστημικής.* Β΄ Ενιαίου Λυκείου, έκδοση Β΄, Ο.Ε.Δ.Β., Αθήνα, σσ. 18 – 21, 42, 45 - 48, 52, 55, 62, 65, 74, 95 – 97, 103 – 104, 130 – 134, 137 – 138, 156 - 158, 161, 173 – 174, 181 – 184.

Galilei, G. – D*ialogue Concerning The Two Chief World Systems.* Translated by Stillman Drake, The Modern Library, NEW YORK 2001, pp. 393 – 395.

Wald, R. (1984) *General Relativity.* University of Chicago Press, ISBN: 978 – 0 – 226 - 87033 - 5, pp. 298 – 299.

Gatti, H. – *«"Τὸ Δεῖπνο τῆς Τετάρτης τῶν Τεφρῶν" τοῦ Τζιορντάνο Μπροῦνο καὶ ὁ "Διάλογος γιὰ τὰ δύο μεγαλύτερα παγκόσμια συστήματα" τοῦ Γαλιλαίου», στό: Γαλιλαῖος Γαλιλέι - Αἱρετικὲς φωνές*. Πανεπιστήμιο Ἀθηνῶν - Ἑλληνικὰ γράμματα, Ἀθήνα 1995, σσ. 59, 61 – 62, 64, 70, 72.

Young, H. (1994) *Πανεπιστημιακή Φυσική: Τόμος Α΄ Μηχανική - Θερμοδυναμική*. Εκδόσεις Παπαζήση, όγδοη έκδοση, σ. 624.

Wheeler, C. (2007) *Cosmic Catastrophes.* Second Edition, Cambridge University Press. ISBN: 0 – 521 – 85714 - 7, pp. 179 – 180, 200.

Δερμιτζάκης, Μ., Λέκκας, Σ. (1993) *Διερευνώντας τη Γη - Εισαγωγή στη Γενική Γεωλογία.* Εκδόσεις Δέσποινα Δ. Μαυρομμάτη, Β΄ Έκδοση, Αθήνα, σ. 40.

Εγκυκλοπαίδεια «Δομή». Εκδόσεις ΔΟΜΗ Α.Ε. Ογδόη Έκδοση, Συνεργάτες Αγγελίδης, Γ. κ.ά. Αθήναι 1976, Τόμος 10, σ. 9.

Ελληνικό Λεξικό. Εκδόσεις Τεγόπουλος – Φυτράκης, Αθήνα 1997, σ. 860.

Epstein, L. (1992) *Εικόνες της σχετικότητας 1. Ειδική Θεωρία.* Εκδόσεις κάτοπτρο, Πρώτη έκδοση, Αθήνα, σσ. 11 – 14.

Ευθυμιάδης, Κ., Παπαδημητράκη - Χλίχλια, Ε., Σιακαβάρα, Α., Τσουκαλάς, Ι. (2009) *Βασική θεωρία ηλεκτρομαγνητισμού.* 1η έκδοση, Θεσσαλονίκη: Μέθεξις, σ. 222.

Ησίοδος – *Θεογονία.* Εκδόσεις Ζήτρος, Μετάφραση Σταύρος Γκιργκένης, Θεσσαλονίκη 2001, σσ. 293 – 375.

Θεοδωράκης, Σ. (1999) *Το κενό που κοχλάζει*. Εκδόσεις Δίαυλος, Αθήνα, σσ. 52 – 53.

Καμαράτος, Μ. (2009) *Εισαγωγή στη Φυσική Στερεάς Κατάστασης*. Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Τμήμα Φυσικής, Ιωάννινα, σ. 537.

Καρακώστας, Θ., Κυριάκος, Δ. (1998) *Φυσική Εισαγωγή στη Μηχανική.* Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, σσ. 103 - 104, 391, 395.

Κοντόπουλος, Γ., Κωτσάκης, Δ. (1982) *Κοσμολογία: Η δομή και εξέλιξη του Σύμπαντος.* Αθήνα, σσ. 17 – 20, 42 – 54, 59 – 69, 76 – 78, 83 – 90.

Λεξικό της Φυσικής. Εκδόσεις ΜΑΛΛΙΑΡΗΣ-ΠΑΙΔΕΙΑ Α.Ε./Oxford University Press, Μετάφραση: Κώστας Θεολόγου, Επιστημονική θεώρηση: Δημήτρης Τζεβελέκης, 1993, ISBN: 960 – 239 – 137 – 5, σσ. 236, 290.

Lightman, A. (1994) *Η ώρα των άστρων - Η αστρονομία στο κατώφλι του 2000*. Εκδόσεις Κάτοπτρο, 1η έκδοση, Αθήνα, σσ. 85 - 86, 90, 92, 94 – 97, 100, 102 – 109, 113 - 118.

Moyer, C., Moses, C., Serway R. (2007) *Σύγχρονη Φυσική*. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο, σσ 20 - 22, 25, 27 – 29.

Μπάνος, Γ. (1998) *Στοιχεία Αστρονομίας & Διαστημικής.* Β΄ Τάξη Ενιαίου Λυκείου, Έκδοση Θ΄, Ο.Ε.Δ.Β., Αθήνα, σσ. 6, 147 – 150.

Brown, J., Davies, P. (2005) *Υπερχορδές - Η Θεωρία των Πάντων;* Εκδόσεις Κάτοπτρο, δεύτερη έκδοση, Αθήνα, σσ. 40 – 43, 45 – 46, 51, 95.

Davies, P. (2004) *Χρονομηχανές.* Μεταφραστής Γραμμένος Θεοφάνης, εκδόσεις Τραυλός, Αθήνα, σ. 104.

Παπανικολάου, Δ., Σίδερης, Χρ. (1985) *Γεωλογία Α΄ Λυκείου*. Έκδοση Α΄, Ο.Ε.Δ.Β., Αθήνα, σσ. 13 – 14.

Σαβάλλας, Α. – Σαβάλλας, Σ. (2005) *Φυσική Α΄ Λυκείου.* Β΄ Τεύχος, Εκδόσεις Σαβάλλας, Αθήνα, σσ. 79 – 80.

Σκουλικίδης, Θ. (1989) *Φυσικοχημεία Ι.* Α΄ Έκδοση, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.

Smolin, L. (2002) *Τρεις Δρόμοι προς την Κβαντική Βαρύτητα.* Εκδόσεις Κάτοπτρο.

Τραχανάς, Σ. (2008) *Κβαντομηχανική ΙΙ: Θεμελιώδεις Αρχές και Μέθοδοι – Κβαντικοί Υπολογιστές.* Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο, σσ. 48, 50 – 52.

Τραχανάς, Σ. (1994) *Κβαντομηχανικη ΙΙ: Τρισδιάστατα Προβλήματα – Κβαντική Θεωρία της Ύλης.* Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, 4η έκδοση, Ηράκλειο, σ. 174.

Φον Νταίνικεν, Ε. (1977) *Επισκέπτες απ΄το Σύμπαν.* Εκδόσεις NOTOS, Αθήνα, σσ. 28, 38 – 40.

Hawking, S. (1997) *Το Χρονικό του Χρόνου.* Εκδόσεις Κάτοπτρο, Αναθεωρημένη Έκδοση, Αθήνα, σσ. 51 – 55, 205 – 206, 217, 220 – 228.

Χαλκιά, Κ. (2006) *Το Ηλιακό Σύστημα μέσα στο Σύμπαν – Η διαδρομή από την επιστημονική στη σχολική γνώση*. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο, Σεπτέμβριος, σσ. 435, 506.

Χατζηδημητρίου, Ι. (2000) *Θεωρητική Μηχανική: Τόμος Β΄ Αναλυτική Δυναμική – Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας*. Εκδόσεις Γιαχούδη - Γιαπούλη, Θεσσαλονίκη, σσ. 155 – 158, 169, 172 – 177, 181 – 183, 186.

Hewitt, P. (2007) *Οι έννοιες της Φυσικής*. Πανεπιστημιακές εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο, σ. 709.

ΣΧΕΤΙΚΟΙ ΔΙΚΤΥΑΚΟΙ ΤΟΠΟΙ

Αντωνοπούλου, Ε. - *Αστρικές Ατμόσφαιρες - Εσωτερικό Αστέρων.* Πανεπιστήμιο Αθηνών, σ. 10, users.uoa.gr/~eantonop/Astro-I.pdf

Γεωργουλάκης, Μ. – *Αστρική πυρηνοσύνθεση.* Υπεύθυνη καθηγήτρια κα Βλαστού Ρ., Σεμινάριο Φυσικής, ακαδημαϊκό έτος 2011 - 2012, Σχολή Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, σσ. 12, 29, 31, https://www.google.com.cy/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CB4QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.physics.ntua.gr%2Fpdf_doc_files%2Fseminario_fysikhs_2012%2F2012%2520Georgoulakis%2520Mixalis.pptx&ei=n7xAVJ-_ENbsaKSpgvAL&usg=AFQjCNFyRVddYL_JZ0m-OmhdEBlBsYZNHw

Γιατί υπάρχει το σύμπαν; Physics4u Weblog, 15/08/2011, https://physics4u.wordpress.com/2011/08/15/%CE%AF-%CE%AC-%CF%8D-2/

Gleiser, M. (2010) *Το ατελές σύμπαν: Αντίο, θεωρία των πάντων.* Physics4u's Weblog, http://physics4u.wordpress.com/2010/05/13/%CE%AD-%CF%8D-%CE%AF-%CE%AF-%CE%AC/

Δανέζης, Μ. - *Το υπέροχο Σύμπαν του μέλλοντος μας*. Τμήμα Φυσικής Πανεπιστημίου Αθηνών, https://manosdanezis.gr/wp-content/uploads/2017/08/13.pdf

Δεληβοριάς, Α. (2007) *Βαρυτικά κύματα: ένα νέο παράθυρο στο Σύμπαν.* Ίδρυμα Ευγενίδου, Πλανητάριο, Αστροπύλη, http://www.eugenfound.edu.gr/frontoffice/portal.asp?cpage=RESOURCE&cresrc=2522&cnode=28

Δεληβοριάς, Α. – *Ένα αστέρι γεννιέται.* Ίδρυμα Ευγενίδου, http://www.eugenfound.edu.gr/frontoffice/portal.asp?cpage=resource&cresrc=1089

Δεληβοριάς, Α. (2017) *Η Διαστολή του Σύμπαντος και το Παράδοξο του Olbers.* Ίδρυμα Ευγενίδου, https://www.eef.edu.gr/el/arthra/h-diastoli-tou-sympantos-kai-to-paradokso-tou-olbers/?sa=X&ved=2ahUKEwiTis77yJnnAhWy1aYKHTEuDo4QFjAAegQIAhAB

Δεληβοριάς, Α., Κουστένη, Α., Κριμιζής, Σ., Πάτσης, Π., Τσιγάνης, Κ., Τσίγκανος, Κ., Χαρμανδάρης, Β. (2017) *Επτά Έλληνες αστρονόμοι και αστροφυσικοί μιλούν για την ανακάλυψη επτά «γήινων» εξωπλανητών.* Ιστοσελίδα της ΕΡΤ, Πηγή: ΑΠΕ, http://www.ert.gr/radiotileorasi/poiotita-zois-radiotileorasi/epta-ellines-astronomi-ke-astrofysiki-exigoun-schetika-me-tous-epta-giinous-exoplanites/

Δημιούργησαν αρνητική μάζα στο εργαστήριο. Physicsgg Φυσικοί και Φυσική από το διαδίκτυο, Posted on 17/04/2017, https://physicsgg.me/2017/04/17/%CE%B4%CE%B7%CE%BC%CE%B9%CE%BF%CF%8D%CF%81%CE%B3%CE%B7%CF%83%CE%B1%CE%BD-%CE%B1%CF%81%CE%BD%CE%B7%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE-%CE%BC%CE%AC%CE%B6%CE%B1-%CF%83%CF%84%CE%BF-%CE%B5%CF%81%CE%B3%CE%B1%CF%83/

Διακυμάνσεις του Κενού και η Προέλευση του Σύμπαντος. Physics4u, Σεπτέμβριος 2006, http://www.physics4u.gr/articles/2006/vacuum_fluctuations_universe.html

Εισαγωγή στην κβαντομηχανική. Physics4u, Ιανουάριος 2002, http://www.physics4u.gr/articles/introqm.html

Ζδέτσης, Α. (2005) *Εισαγωγή στην σύγχρονη φυσική: Μέρος Πρώτο Παλαιά Κβαντική Θεωρία, 1.1 Τι είναι «Κλασική» και τι «Σύγχρονη Φυσική». Μια Σύντομη Ιστορική και Εννοιολογική Αναδρομή*. Πανεπιστήμιο Πατρών, σσ. 3 - 6, 8, 14 – 17, http://www.google.com.cy/url?url=http://www.physics.upatras.gr/UploadedFiles/course_111_7809.pdf&rct=j&frm=1&q=&esrc=s&sa=U&ved=0ahUKEwi-98fL4OTYAhWSh7QKHUN3CxgQFggSMAA&usg=AOvVaw2Ekmr0BVCtcNsvTyxIpXTW

Ζούμε σ' ένα Σύμπαν… Physics4u blog, 11/04/2016, http://physics4u.gr/blog/news/%CE%B6%CE%BF%CF%8D%CE%BC%CE%B5-%CF%83-%CE%AD%CE%BD%CE%B1-%CF%83%CF%8D%CE%BC%CF%80%CE%B1%CE%BD/

Η αποκάλυψη των ταλαντώσεων των νετρίνων (Νόμπελ Φυσικής 2015). Physicsgg Φυσικοί και Φυσική από το διαδίκτυο, Posted on 09/10/2015, https://physicsgg.me/2015/10/09/%CE%B7-%CE%B1%CF%80%CE%BF%CE%BA%CE%AC%CE%BB%CF%85%CF%88%CE%B7-%CF%84%CF%89%CE%BD-%CF%84%CE%B1%CE%BB%CE%B1%CE%BD%CF%84%CF%8E%CF%83%CE%B5%CF%89%CE%BD-%CF%84%CF%89%CE%BD-%CE%BD%CE%B5%CF%84%CF%81%CE%AF/

Η δύναμη Casimir και η συνάρτηση ζ του Riemann. Blog physicsgg, Posted on 02/02/2014, https://physicsgg.me/2014/02/02/h-%ce%b4%cf%8d%ce%bd%ce%b1%ce%bc%ce%b7-casimir-%ce%ba%ce%b1%ce%b9-%ce%b7-%cf%83%cf%85%ce%bd%ce%ac%cf%81%cf%84%ce%b7%cf%83%ce%b7-%ce%b6-%cf%84%ce%bf%cf%85-riemann/

Η ενεργειακή πυκνότητα του κενού. Physics4u, Μάρτιος 2008, http://www.physics4u.gr/articles/2008/energy_density_vacuum.html

Η θεωρία της υπερσυμμετρίας ή Susy. Δικτυακή πύλη Φυσικής στην Ελλάδα Physics4u, Σεπτέμβριος 2006, http://users.sch.gr/tsinasp/portal/index.php/epistimi-texnologia/arthra/147-i-theoria-tis-ypersymmetrias-i-susy

Η παραβίαση της απαγορευτικής αρχής του Pauli… Physicsgg Φυσικοί και Φυσική από το διαδίκτυο, Posted on 23/05/2017,
https://physicsgg.me/2017/05/23/%CE%B7-%CF%80%CE%B1%CF%81%CE%B1%CE%B2%CE%AF%CE%B1%CF%83%CE%B7-%CF%84%CE%B7%CF%82-%CE%B1%CF%80%CE%B1%CE%B3%CE%BF%CF%81%CE%B5%CF%85%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE%CF%82-%CE%B1%CF%81%CF%87%CE%AE%CF%82-%CF%84/

Η σκοτεινή ενέργεια και η αναπάντεχη διαστολή του σύμπαντος. Physics4u Weblog, 24/01/2017,
https://physics4u.wordpress.com/2017/01/24/%CE%B7-%CF%83%CE%BA%CE%BF%CF%84%CE%B5%CE%B9%CE%BD%CE%AE-%CE%B5%CE%BD%CE%AD%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1-%CE%BA%CE%B1%CE%B9-%CE%B7-%CE%B1%CE%BD%CE%B1%CF%80%CE%AC%CE%BD%CF%84%CE%B5%CF%87%CE%B7-%CE%B4/

Η συμμετρία στη φυσική. physics4u, 24/11/2009,
http://physics4u.gr/blog/2009/11/24/%CE%B7-%CF%83%CF%85%CE%BC%CE%BC%CE%B5%CF%84%CF%81%CE%AF%CE%B1-%CF%83%CF%84%CE%B7-%CF%86%CF%85%CF%83%CE%B9%CE%BA%CE%AE/

Καλαμάκης, Γ. (2010) *Μηχανισμός Higgs*. Σημειώσεις, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, σσ. 8, 17, 19 – 20,
https://www.slideserve.com/nat/ss-higgs-powerpoint-ppt-presentation

Κασσέτας, Α. – *GUT,* http://users.sch.gr/kassetas/zzGUT.htm

Κασσέτας, Α. – *ΣΥΜΜΕΤΡΙΕΣ* http://users.sch.gr/kassetas/zzSymmetries.htm

Κασσέτας, Α. – Το σχέδιο της αφίσας World Year of Physics 2005 παριστάνει τον κώνο φωτός του Minkowski. Ας τον «φωτίσουμε»,
http://users.sch.gr/kassetas/appleMinkowsi0.htm

Κασσέτας, Α. – *Υπερχορδές,* http://users.sch.gr/kassetas/zzSuperstrings.htm

Κάτση, Α. (2007) *Μελέτη επιπέδου φυσικής ραδιενέργειας από γ ακτινοβολία, στην περιοχή Ακρωτηρίου του Νομού Χανίων.* MSc, σ. 8, dias.library.tuc.gr/view/manf/26697

Καφεσάκη, Μ. - *Σύγχρονη Φυσική, 9. Στοιχειώδη σωματίδια (9.a. Οι θεμελιώδεις δυνάμεις, 9.b. Ταξινόμηση σωματιδίων, 9.c. Νόμοι διατήρησης & 9.d. Τα quarks).* Διαλέξεις/Σημειώσεις,
http://gate.iesl.forth.gr/~kafesaki/Modern-Physics/lectures/modern_physics10.html

Λεύκος, Β. - *Θεωρία Χορδών σε χώρο Minkowski και σε καμπυλωμένο χώρο.* Επιβλέπων: Αργύρης Νικολαΐδης, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, σσ. 10, 49, *http://ikee.lib.auth.gr/record/131935/files/String_theory.pdf*

Livio, M. (2008) *Το μέτρο της Συμμετρίας.* European journal «Science in School», Μετάφραση Αντώνης Γίτσας, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Τμήμα Φυσικής, http://www.scienceinschool.org/el/2006/issue2/symmetry

Lincoln, D. (2013) *Symmetry: How Beautiful Math Makes Elegant Physics*. Blog: The Nature of Reality, http://www.pbs.org/wgbh/nova/blogs/physics/2013/04/symmetry-how-beautiful-math-makes-elegant-physics/

Lindey, D. (2009) *Κβαντική φυσική και κοσμολογία*. Physics4u Weblog, Physics & Science News, http://physics4u.wordpress.com/2009/10/21/ή-ή-ί-2/

Λιόλιος, Α. - *Το άτομο και η δομή του. Ανακάλυψη του πυρήνα.* http://skiathos.physics.auth.gr/atlas/Nuclear_Physics/2014/T2/Liolios/LIO-3_Scattering_Rutherford_etc.pdf

Μανουσέλης, Σ. (2010) *Η πρώτη εικόνα του Σύμπαντος - βρέφους.* Ελευθεροτυπία, http://www.enet.gr/?i=news.el.article&id=183853

Μαυραγάνης, Κ. (2017) *Πώς θα μπορούσαμε να φτάσουμε στους επτά «αδελφούς» της Γης που ανακάλυψε η NASA.* Huffington Post, http://www.huffingtonpost.gr/2017/02/23/eidhseis-tech-epta-planhtes-pws-ftanoume_n_14952420.html

Murayama, H. – *Το καθιερωμένο πρότυπο.* International Particle Physics Outreach Group (IPPOG), Μετάφραση: Άρης Χατζηχρήστος, http://www.physics.ntua.gr/POPPHYS/60/SM.html

Μήκος Planck, χρόνος Planck και μάζα Planck. Blog physicsgg, Τρίτη 22.2.2011, http://physicsgg.me/2011/02/22/%CE%BC%CE%AE%CE%BA%CE%BF%CF%82-%CF%87%CF%81%CF%8C%CE%BD%CE%BF%CF%82-%CE%BA%CE%B1%CE%B9-%CE%BC%CE%AC%CE%B6%CE%B1-planck/

Μια ανασκόπηση των ιδεών της συμμετρίας. Physics4u, 2001, http://www.physics4u.gr/articles/symmetry.html

Blake, C. and the WiggleZ team - *The WiggleZ Dark Energy Survey.* Astronomy & Geophysics, Oxford journal, Volume 49, Issue 5, October 2008, pp. 5.19 - 5.24, https://academic.oup.com/astrogeo/article/49/5/5.19/422429

Μποζόνιο Higgs: Το σωματίδιο του Θεού. Physics4u, Φεβρουάριος 2008, http://www.physics4u.gr/articles/2008/Higgs.html

Naftilan, S., Stetson, P. (1999) *How do scientists determine the ages of stars? Is the technique really accurate enough to use it to verify the age of the universe?* Scientific American Magazine, https://www.scientificamerican.com/article/how-do-scientists-determi/

D'Agostino, M. - *Ακτινοβολια Cherenkov*. University of California, Berkeley, International Particle Physics Outreach Group (IPPOG), Μετάφραση: Άρης Χατζηχρήστος, http://www.physics.ntua.gr/POPPHYS/60/cherenkov.html

Ο δεύτερος θερμοδυναμικός νόμος και το βέλος του χρόνου. Physics4u, Ιούνιος 2008, http://www.physics4u.gr/articles/2008/second_law.html

Οι κοσμολογικές θεωρίες του Tryon και Vilenkin για την ανάδυση του σύμπαντος από το Τίποτα. Δικτυακή πύλη Φυσικής στην Ελλάδα Physics4u, 10/06/2017, http://physics4u.gr/blog/2017/06/10/%CE%BF%CE%B9-%CE%BA%CE%BF%CF%83%CE%BC%CE%BF%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%B9%CE%BA%CE%AD%CF%82-%CE%B8%CE%B5%CF%89%CF%81%CE%AF%CE%B5%CF%82-%CF%84%CF%89%CE%BD-tryon-%CE%BA%CE%B1%CE%B9-vilenkin-%CE%B3%CE%B9%CE%B1/

Ο Ίππαρχος και οι επίκυκλοι. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Γεώτοπος (Βάση Γεωγνώσης & ψηφιακή αποθήκη εκπαιδευτικού υλικού), Δημοσιεύτηκε στις 12 Οκτ 2007, http://portal.survey.ntua.gr/geohopper/Movie_Theater/Epicycles_CPdiM.htm

Οι σπασμένες συμμετρίες και το Νόμπελ στη Φυσική 2008. Physics4u, Οκτώβριος 2008, http://www.physics4u.gr/articles/2008/nobel2008.html

Παπαδάκης, Ι. - *Πόσο "μεγάλα"είναι τα αστέρια;* Διάλεξη 3η του μαθήματος Αστροφυσική Ι Πανεπιστήμιο Κρήτης, σ. 1, http://ph230.edu.physics.uoc.gr/files/astro-lecture3.pdf

Παρερμηνείες για τη Μεγάλη Έκρηξη - Μέρος 2ο - Απομάκρυνση με ταχύτητα μεγαλύτερη του φωτός. Physics4u, Μάρτιος 2005, http://www.physics4u.gr/articles/2005/misconceptions2.html

Ποιές ανάγκες γέννησαν την Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας; Physics4u, Νοέμβριος 2001, http://www.physics4u.gr/faq/special.html#special1

Πως μετράμε την πολύ υψηλή θερμοκρασία που επικρατεί στην κατάσταση πλάσματος; Physics4u, Σεπτέμβριος 2003, http://www.physics4u.gr/faq/temperatureplasma.html

Russell, D. (2015) *Can you really go back in time by Breaking the speed of light?* Blog: The Nature of Reality, http://www.pbs.org/wgbh/nova/blogs/physics/2015/08/can-you-really-go-back-in-time-by-breaking-the-speed-of-light/

Symmetry making and symmetry breaking. Submitted by Marianne Freiberger Editor of Plus magazine. She interviewed John D. Barrow and John Ellis in December 2015, https://plus.maths.org/content/symmetry-making-and-symmetry-breaking

Σιμόπουλος, Δ. (2017) *Νόμπελ Φυσικής για τον εντοπισμό των βαρυτικών κυμάτων*. Ευγενίδειο Πλανητάριο, https://m.naftemporiki.gr/story/1281657

Συμπαντική ενέργεια. Από την Live-pedia.gr (ιστογραφία physics4u), http://www.livepedia.gr/index.php/%CE%A3%CF%85%CE%BC%CF%80%CE%B1%CE%BD%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE_%CE%95%CE%BD%CE%AD%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1

Τα διάφορα είδη του κενού και ο πληθωρισμός. Physics4u, Οκτώβριος 2007, http://www.physics4u.gr/articles/2007/vacuum_inflation.html

Ταξίδι στον Άρη. Πρόγραμμα ΠΑΜΕ ΔΙΑΣΤΗΜΑ, Υπεύθυνοι προγράμματος Μαρία Τσιοπούλου - Κώστας Τσέλιος, Συμμετέχων μαθητής Φίλιππος Σαμανόπουλος, Εσπερινό Γενικό Λύκειο Καστοριάς, 2009 – 2010, http://lyk-esp-kastor.kas.sch.gr/ekdiloseis0910/pame_diastima/taksidi.html

Τα παράλληλα σύμπαντα μπορούν να είναι κρυμμένα μέσα στις τέσσερις διαστάσεις. Physics4u, 18/05/2011, http://physics4u.gr/blog/2011/05/18/%CE%AC-%CF%8D-%CF%8D-%CE%AFio/

Τα 5 μεγαλύτερα μυστήρια του σύμπαντος και πως θα τα απαντήσουμε. Physics4u's Weblog, 10/01/2017, https://physics4u.wordpress.com/2017/01/10/%CF%84%CE%B1-5-%CE%BC%CE%B5%CE%B3%CE%B1%CE%BB%CF%8D%CF%84%CE%B5%CF%81%CE%B1-%CE%BC%CF%85%CF%83%CF%84%CE%AE%CF%81%CE%B9%CE%B1-%CF%84%CE%BF%CF%85-%CF%83%CF%8D%CE%BC%CF%80%CE%B1%CE%BD%CF%84%CE%BF%CF%82/

Τάσιος, Θ. (2010) *Το ηλιακό σύστημα*. http://thantas.blogspot.com/2010/12/blog-post.html

Turner, M. - *Η σκοτεινή ενέργεια.* International Particle Physics Outreach Group (IPPOG), Μετάφραση: Άρης Χατζηχρήστος, http://www.physics.ntua.gr/POPPHYS/60/dark_energy.html

Jenkins, A., Perez, G. (2010) *Ψάχνοντας για ζωή στο πολυσύμπαν – Κόσμοι μέσα στο πολυσύμπαν με διαφορετικούς νόμους της φυσικής θα μπορούσαν να είναι ακόμα και κατοικήσιμοι.* Physics4u's Weblog, https://physics4u.wordpress.com/2010/01/06/%CE%AC-%CE%AE-%CF%8D/

Τι είναι ακριβώς οι 'σκουληκότρυπες'; 'Εχουν αποδειχθεί ότι μπορούν να υπάρχουν ή είναι ακόμα θεωρητικές; Physics4u, Απρίλιος 2002, http://www.physics4u.gr/articles/2002/wormhole.html

Τι είναι η κοσμική ακτινοβολία υποβάθρου; (ή Κοσμική Ακτινοβολία Μικροκυμάτων – ΚΑΜ). Physicsgg Φυσικοί και Φυσική από το διαδίκτυο, Posted on 22/12/2012, https://physicsgg.me/2012/12/22/t%CE%B9-%CE%B5%CE%AF%CE%BD%CE%B1%CE%B9-%CE%B7-%CE%BA%CE%BF%CF%83%CE%BC%CE%B9%CE%BA%CE%AE-%CE%B1%CE%BA%CF%84%CE%B9%CE%BD%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CE%AF%CE%B1-%CF%85%CF%80%CE%BF%CE%B2%CE%AC%CE%B8%CF%81/

Τι είναι η κρίσιμη πυκνότητα του σύμπαντος; Blog physicsgg, Σάββατο 8.10.2011, http://physicsgg.me/2011/10/08/τι-είναι-η-κρίσιμη-πυκνότητα-του-σύμπα/

Τι είναι τα ταχυόνια; Δικτυακή πύλη Φυσικής στην Ελλάδα Physics4u, http://www.physics4u.gr/faq/tachyons.html

Τόγκας, Α. – *Ειδική Θεωρία Σχετικότητας 5) Σχετικιστική μάζα.* Τμήμα Μαθηματικών, Πανεπιστήμιο Πατρών, σσ. 14 - 15, www.math.upatras.gr/~tasos/reldyn.pdf

Τομαράς, Θ. – *Το καθιερωμένο πρότυπο της Κοσμολογίας.* Τμήμα Φυσικής, Πανεπιστήμιο Κρήτης, σσ. 1 – 7, http://ph202.edu.physics.uoc.gr/files/COSMOLOGY_I.pdf

Το πείραμα φαίνεται να επιβεβαιώνει ότι η πληροφορία δεν μπορεί να μεταδοθεί με μεγαλύτερη ταχύτητα από το φως όπως και την αρχή της αιτιότητας. Physics4u, 05/07/2011, http://physics4u.gr/blog/2011/07/05/%CE%AF-%CE%AF-%CF%8E/

Το πληθωριστικό σύμπαν. Physicsgg Φυσικοί και Φυσική από το διαδίκτυο, *Posted on 29/03/2011,*
https://physicsgg.me/2011/03/29/%CF%84%CE%BF-%CF%80%CE%BB%CE%B7%CE%B8%CF%89%CF%81%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%B9%CE%BA%CF%8C-%CF%83%CF%8D%CE%BC%CF%80%CE%B1%CE%BD/

Το σύμπαν φυσαλίδα. Physics4u, Νοέμβριος 2008, Πηγή: Alan Guth - An Eternity of Bubbles http://www.physics4u.gr/articles/2008/bubble_universe.html

Τράκας, Ν. (1998) *Οι Αλληλεπιδράσεις των Στοιχειωδών Σωματιδίων.* International Particle Physics Outreach Group (IPPOG), Ε.Μ.Π., http://www.physics.ntua.gr/POPPHYS/articles/inter.html

Υπάρχουν πράγματι κρυμμένες διαστάσεις στο σύμπαν; 2ο μοντέλο για τον χώρο. Physics4u's Weblog, 31.10.2009, http://physics4u.wordpress.com/2009/10/31/%CE%AC-%CE%AC-%CE%AD-%CE%AC/

Υπόνοιες για ελαφρά σωματίδια σκοτεινής ύλης στο διάστημα. Physics4u's Weblog, 30/10/2010, https://physics4u.wordpress.com/2010/10/30/%CF%8C-%CE%AC-%CE%AF-t/

Χανλαρίδης, Σ. (2008) *Από τη σχετικότητα στη κβαντομηχανική*. Physics4u, http://www.physics4u.gr/collabor/relativity_quantumechaics/relativity_quantumechaics.html

Huston, J. *Η συμμετρία*. Michigan State University, European Particle Physics Outreach Group (EPPOG), Μετάφραση: Μανώλης Χανιωτάκης, τεύχος 10/2011, http://www.physics.ntua.gr/POPPHYS/60/Symmetry.html

Hewett, J. (2012) *Η υπερσυμμετρία*. European Particle Physics Outreach Group (EPPOG), Μετάφραση: Δήμητρα Κάντα, http://www.physics.ntua.gr/POPPHYS/60/susy.html

Hillis, W. (2013) *Ταχύτητα του φωτός: το έσχατο όριο.* Physicsgg, https://physicsgg.me/2013/09/25/%CF%84%CE%B1%CF%87%CF%8D%CF%84%CE%B7%CF%84%CE%B1-%CF%84%CE%BF%CF%85-%CF%86%CF%89%CF%84%CF%8C%CF%82-%CF%84%CE%BF-%CE%AD%CF%83%CF%87%CE%B1%CF%84%CE%BF-%CF%8C%CF%81%CE%B9%CE%BF/

Χρονομηχανές και ταξίδια στο χρόνο. Physicsgg, Posted on 15/01/2011, https://physicsgg.me/2011/01/15/%cf%87%cf%81%ce%bf%ce%bd%ce%bf%ce%bc%ce%b7%cf%87%ce%b1%ce%bd%ce%ad%cf%82-%ce%ba%ce%b1%ce%b9-%cf%84%ce%b1%ce%be%ce%af%ce%b4%ce%b9%ce%b1-%cf%83%cf%84%ce%bf-%cf%87%cf%81%cf%8c%ce%bd%ce%bf/?relatedposts_hit=1&relatedposts_origin=38476&relatedposts_position=2

36 χρόνια από την πρωτοδημοσίευση της θεωρίας του πληθωρισμού. Physics4u Weblog, 29/03/2017, http://physics4u.gr/blog/2017/03/29/36-%cf%87%cf%81%cf%8c%ce%bd%ce%b9%ce%b1-%ce%b1%cf%80%cf%8c-%cf%84%ce%b7%ce%bd-%cf%80%cf%81%cf%89%cf%84%ce%bf%ce%b4%ce%b7%ce%bc%ce%bf%cf%83%ce%af%ce%b5%cf%85%cf%83%ce%b7-%cf%84%ce%b7%cf%82-%ce%b8%ce%b5/

4η θεωρία για την προέλευση και την εξέλιξη του Σύμπαντος - Το σύμπαν φτιάχτηκε εκ του μηδενός. Physics 4u, Μάρτιος 2007, http://www.physics4u.gr/articles/2007/theories_universe4.html

ΒΙΚΙΠΑΙΔΕΙΑ (WIKIPEDIA)

Αδρανειακό σύστημα αναφοράς. Από τη Βικιπαίδεια, τροποποίηση 27 Νοεμβρίου 2015, https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CE%B4%CF%81%CE%B1%CE%BD%CE%B5%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CF%8C_%CF%83%CF%8D%CF%83%CF%84%CE%B7%CE%BC%CE%B1_%CE%B1%CE%BD%CE%B1%CF%86%CE%BF%CF%81%CE%AC%CF%82

Ανάδρομη κίνηση. Από τη Βικιπαίδεια, τροποποίηση 21 Αυγούστου 2016, https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CE%BD%CE%AC%CE%B4%CF%81%CE%BF%CE%BC%CE%B7_%CE%BA%CE%AF%CE%BD%CE%B7%CF%83%CE%B7

Αναλυτική συνάρτηση. Από τη Βικιπαίδεια, τροποποίηση 30 Μαΐου 2016, https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CE%BD%CE%B1%CE%BB%CF%85%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE_%CF%83%CF%85%CE%BD%CE%AC%CF%81%CF%84%CE%B7%CF%83%CE%B7

Αντιύλη. Από τη Βικιπαίδεια, τροποποίηση 29 Αύγουστου 2014, https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CE%BD%CF%84%CE%B9%CF%8D%CE%BB%CE%B7

Αρνητική μάζα. Από τη Βικιπαίδεια, τροποποίηση Κυριακή 31.03.2013, http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CF%81%CE%BD%CE%B7%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE_%CE%BC%CE%AC%CE%B6%CE%B1

Αρχή της αντιστοιχίας. Από τη Βικιπαίδεια, Τρίτη 31.01.2012, http://el.wikipedia.org/wiki/Αρχή_της_αντιστοιχίας

Αρχή της απροσδιοριστίας. Από τη Βικιπαίδεια*,* Τρίτη 13.11.2012*.* (Serway, R. – "*Physics For Scientists & Engineers, Τόμος IV, Σύγχρονη Φυσική*". Third Edition, Μετάφραση Λεωνίδα Κ. Ρεσβάνη), http://el.wikipedia.org/wiki/Αρχή_της_απροσδιοριστίας

Αστέρας. Από τη Βικιπαίδεια, τροποποίηση 31 Δεκεμβρίου 2014, https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CF%83%CF%84%CE%AD%CF%81%CE%B1%CF%82

Αστεροειδής. Από τη Βικιπαίδεια, τροποποίηση Σάββατο 22.03.2014, http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CF%83%CF%84%CE%B5%CF%81%CE%BF%CE%B5%CE%B9%CE%B4%CE%AE%CF%82

Άτομο. Από τη Βικιπαίδεια, Τετάρτη 2.10.2013, http://el.wikipedia.org/wiki/Άτομο

Βαρύτητα. Από τη Βικιπαίδεια, τροποποίηση Τετάρτη 30.4.2014, http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%92%CE%B1%CF%81%CF%8D%CF%84%CE%B7%CF%84%CE%B1

Γαλιλαίος Γαλιλέι. Από τη Βικιπαίδεια, Σάββατο 24.11.2012, http://el.wikipedia.org/wiki/Γαλιλαίος_Γαλιλέι

Γάτα του Σρέντινγκερ. Από τη Βικιπαίδεια, τροποποίηση 13 Ιανουαρίου 2022, https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%93%CE%AC%CF%84%CE%B1_%CF%84%CE%BF%CF%85_%CE%A3%CF%81%CE%AD%CE%BD%CF%84%CE%B9%CE%BD%CE%B3%CE%BA%CE%B5%CF%81

Γενική θεωρία της σχετικότητας. Από τη Βικιπαίδεια, τροποποίηση 19 Σεπτεμβρίου 2019, https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%93%CE%B5%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%AE_%CE%B8%CE%B5%CF%89%CF%81%CE%AF%CE%B1_%CF%84%CE%B7%CF%82_%CF%83%CF%87%CE%B5%CF%84%CE%B9%CE%BA%CF%8C%CF%84%CE%B7%CF%84%CE%B1%CF%82

Γραμμική άλγεβρα. Από τη Βικιπαίδεια, τροποποίηση 6 Σεπτέμβριου 2016, https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%93%CF%81%CE%B1%CE%BC%CE%BC%CE%B9%CE%BA%CE%AE_%CE%AC%CE%BB%CE%B3%CE%B5%CE%B2%CF%81%CE%B1

Δακτύλιοι του Κρόνου. Από τη Βικιπαίδεια, τροποποίηση 21 Φεβρουαρίου 2016, https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%94%CE%B1%CE%BA%CF%84%CF%8D%CE%BB%CE%B9%CE%BF%CE%B9_%CF%84%CE%BF%CF%85_%CE%9A%CF%81%CF%8C%CE%BD%CE%BF%CF%85

Εκκεντρότητα. Από τη Βικιπαίδεια, τροποποίηση Τρίτη 05.11.2013, http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%95%CE%BA%CE%BA%CE%B5%CE%BD%CF%84%CF%81%CF%8C%CF%84%CE%B7%CF%84%CE%B1

Εκλειπτική. Από τη Βικιπαίδεια, τροποποίηση Δευτέρα 30.06.2014, http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%95%CE%BA%CE%BB%CE%B5%CE%B9%CF%80%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE

Eddington luminosity. From Wikipedia, modified 30 Ιουνίου 2015, https://en.wikipedia.org/wiki/Eddington_luminosity

Εντροπία. Από τη Βικιπαίδεια, τροποποίηση Πέμπτη 23.08.2012, http://el.wikipedia.org/wiki/Εντροπία

Εξωηλιακός πλανήτης. Από τη Βικιπαίδεια, τροποποίηση 13 Οκτωβρίου 2017, https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%95%CE%BE%CF%89%CE%B7%CE%BB%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CF%8C%CF%82_%CF%80%CE%BB%CE%B1%CE%BD%CE%AE%CF%84%CE%B7%CF%82

Ηλεκτρικό φορτίο. Από τη Βικιπαίδεια, Κυριακή 29.07.2012, http://el.wikipedia.org/wiki/Ηλεκτρικό_φορτίο

Θεωρία χορδών. Από τη Βικιπαίδεια, τροποποίηση Κυριακή 25.05.2014, http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%98%CE%B5%CF%89%CF%81%CE%AF%CE%B1_%CF%87%CE%BF%CF%81%CE%B4%CF%8E%CE%BD

Ισοδυναμία μάζας-ενέργειας. Από τη Βικιπαίδεια, Δευτέρα 25.03.2013, http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%99%CF%83%CE%BF%CE%B4%CF%85%CE%BD%CE%B1%CE%BC%CE%AF%CE%B1_%CE%BC%CE%AC%CE%B6%CE%B1%CF%82-%CE%B5%CE%BD%CE%AD%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1%CF%82

Κβάζαρ. Από τη Βικιπαίδεια, τροποποίηση 21 Μαρτίου 2016, https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CE%B2%CE%AC%CE%B6%CE%B1%CF%81

Κβαντική μηχανική. Από τη Βικιπαίδεια, τροποποίηση 3 Αυγούστου 2020, *https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CE%B2%CE%B1%CE%BD%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE_%CE%BC%CE%B7%CF%87%CE%B1%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%AE*

Κβαντικό Κενό. Science Wiki blogspot, Σάββατο 11.02.2012, http://el.science.wikia.com/wiki/%CE%9A%CE%B2%CE%B1%CE%BD%CF%84%CE%B9%CE%BA%CF%8C_%CE%9A%CE%B5%CE%BD%CF%8C

Κβάντο. Από τη Βικιπαίδεια, Τρίτη 7.05.2013 http://el.wikipedia.org/wiki/Κβάντο

Κλαύδιος Πτολεμαίος. Από τη Βικιπαίδεια, τροποποίηση 16 Σεπτεμβρίου 2015, https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CE%BB%CE%B1%CF%8D%CE%B4%CE%B9%CE%BF%CF%82_%CE%A0%CF%84%CE%BF%CE%BB%CE%B5%CE%BC%CE%B1%CE%AF%CE%BF%CF%82

Κομήτης. Από τη Βικιπαίδεια, Κυριακή 27.04.2014 (Πηγή: Κωτσάκης, Δ., Χασάπης, Κ.: *Κοσμογραφία*, Αθήναι 1969), http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CE%BF%CE%BC%CE%AE%CF%84%CE%B7%CF%82

Κοσμολογική σταθερά. Από τη Βικιπαίδεια, τροποποίηση 14 Ιουνίου 2019, https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CE%BF%CF%83%CE%BC%CE%BF%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%B9%CE%BA%CE%AE_%CF%83%CF%84%CE%B1%CE%B8%CE%B5%CF%81%CE%AC

Κύκλος Πρωτονίου – Πρωτονίου. Astronomia.gr, Δευτέρα 11.09.2006, http://www.astronomia.gr/wiki/index.php?title=%CE%9A%CF%8D%CE%BA%CE%BB%CE%BF%CF%82_%CE%A0%CF%81%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%BD%CE%AF%CE%BF%CF%85-%CE%A0%CF%81%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%BD%CE%AF%CE%BF%CF%85

Μαγνητικό μονόπολο. Από τη Βικιπαίδεια, τροποποίηση 31 Μαρτίου 2013, https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%B1%CE%B3%CE%BD%CE%B7%CF%84%CE%B9%CE%BA%CF%8C_%CE%BC%CE%BF%CE%BD%CF%8C%CF%80%CE%BF%CE%BB%CE%BF

Μάζα. Από τη Βικιπαίδεια, τροποποίηση Πέμπτη 15 Ιουλίου 2014, http://el.wikipedia.org/wiki/Μάζα

Massive Astrophysical Compact Halo Objects (MACHO). From Wikipedia, modified Thursday 21.11.2013, http://en.wikipedia.org/wiki/Massive_compact_halo_object

Μαύρη τρύπα. Από τη Βικιπαίδεια, τροποποίηση 23 Ιανουαρίου 2015, https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%B1%CF%8D%CF%81%CE%B7_%CF%84%CF%81%CF%8D%CF%80%CE%B1

Μέλαν σώμα. Από τη Βικιπαίδεια, 4.11.2012 (Ελευθεριάδης, Χ., Λιόλιος, Α., Ζιούτας, Κ., Σαββίδης, Η. - *Σημειώσεις σύγχρονης φυσικής*. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Υπηρεσία Δημοσιευμάτων, 1998), http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%AD%CE%BB%CE%B1%CE%BD_%CF%83%CF%8E%CE%BC%CE%B1

Μετεωρίτης. Από τη Βικιπαίδεια, τροποποίηση Παρασκευή 13 Δεκεμβρίου 2014, https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%B5%CF%84%CE%B5%CF%89%CF%81%CE%AF%CF%84%CE%B7%CF%82

Μποζόνιο. Από τη Βικιπαίδεια, Παρασκευή 2.11.2012, http://el.wikipedia.org/wiki/Μποζόνιο

Νετρίνο. Από τη Βικιπαίδεια, τροποποίηση 4 Μαΐου 2017, https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9D%CE%B5%CF%84%CF%81%CE%AF%CE%BD%CE%BF

Νόμος του Κουλόμπ. Από τη Βικιπαίδεια, Σάββατο 20.09.2014, http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9D%CF%8C%CE%BC%CE%BF%CF%82_%CF%84%CE%BF%CF%85_%CE%9A%CE%BF%CF%85%CE%BB%CF%8C%CE%BC%CF%80

Παράδοξο του παππού. Από τη Βικιπαίδεια, τροποποίηση 12 Μαΐου 2014, https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A0%CE%B1%CF%81%CE%AC%CE%B4%CE%BF%CE%BE%CE%BF_%CF%84%CE%BF%CF%85_%CF%80%CE%B1%CF%80%CF%80%CE%BF%CF%8D

Πεδίο Higgs. Science Wiki,

https://science.fandom.com/el/wiki/%CE%A0%CE%B5%CE%B4%CE%AF%CE%BF_Higgs

Περιήλιο. Από τη Βικιπαίδεια, Τετάρτη 05.03.2014, http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A0%CE%B5%CF%81%CE%B9%CE%AE%CE%BB%CE%B9%CE%BF

Περιοδικός πίνακας των χημικών στοιχείων. Από τη Βικιπαίδεια, τροποποίηση Παρασκευή 07.03.2014, https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A0%CE%B5%CF%81%CE%B9%CE%BF%CE%B4%CE%B9%CE%BA%CF%8C%CF%82_%CF%80%CE%AF%CE%BD%CE%B1%CE%BA%CE%B1%CF%82_%CF%84%CF%89%CE%BD_%CF%87%CE%B7%CE%BC%CE%B9%CE%BA%CF%8E%CE%BD_%CF%83%CF%84%CE%BF%CE%B9%CF%87%CE%B5%CE%AF%CF%89%CE%BD

Πλανήτης. Από τη Βικιπαίδεια, τροποποίηση Σάββατο 27.09.2014, http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A0%CE%BB%CE%B1%CE%BD%CE%AE%CF%84%CE%B7%CF%82

Πληθωριστικό μοντέλο. Astronomia.gr, Παρασκευή 5.01.2007. (Liddle, A. – *Introduction to Cosmology*. Second Edition, Publisher: John Wiley and Sons) https://www.astronomia.gr/wiki/index.php?title=%CE%A0%CE%BB%CE%B7%CE%B8%CF%89%CF%81%CE%B9%CF%83%CE%BC%CF%8C%CF%82&redirect=no

Ραδιενέργεια. Από τη Βικιπαίδεια, Τετάρτη 20.06.2012, http://el.wikipedia.org/wiki/Ραδιενέργεια

SETI (Search for Extra-Terrestrial Intelligence). Από astronomia.gr, τροποποιήθηκε στις 18 Φεβρουαρίου 2007, https://www.astronomia.gr/wiki/index.php?title=SETI

Σκοτεινή ενέργεια. Από τη Βικιπαίδεια, τροποποίηση Κυριακή 11.07.2012, http://el.wikipedia.org/wiki/Σκοτεινή_ενέργεια

Σκοτεινή ύλη. Από τη Βικιπαίδεια, τροποποίηση Παρασκευή 23.03.2012, http://el.wikipedia.org/wiki/Σκοτεινή_Ύλη

Σταθερά του Πλανκ. Από τη Βικιπαίδεια, Σάββατο 13.08.2012, http://el.wikipedia.org/wiki/Σταθερά_του_Πλανκ

Stellar age estimation. From Wikipedia, 24 November 2014, https://en.wikipedia.org/wiki/Stellar_age_estimation

Στοιχειώδες σωματίδιο. Από Βικιπαίδεια, Πέμπτη 5.07.2012, http://el.wikipedia.org/wiki/Στοιχειώδες_σωματίδιο

Συχνότητα. Από τη Βικιπαίδεια, τροποποίηση 24 Μαρτίου 2015, https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A3%CF%85%CF%87%CE%BD%CF%8C%CF%84%CE%B7%CF%84%CE%B1

Σχετικότητα. Από τη Βικιπαίδεια, τροποποίηση Δευτέρα 27.09.2010, http://el.wikipedia.org/wiki/Σχετικότητα

Ταξίδι στο χρόνο. Από τη Βικιπαίδεια, τροποποίηση Κυριακή 07.04.2013, http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A4%CE%B1%CE%BE%CE%AF%CE%B4%CE%B9_%CF%83%CF%84%CE%BF_%CF%87%CF%81%CF%8C%CE%BD%CE%BF

Ταχύτητα διαφυγής. Από τη Βικιπαίδεια, Δευτέρα 01.04.2013 (Serway, R. (1990) *Φυσική Τόμος I - Μηχανική*. Saunders College Publishing, Λονδίνο), http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A4%CE%B1%CF%87%CF%8D%CF%84%CE%B7%CF%84%CE%B1_%CE%B4%CE%B9%CE%B1%CF%86%CF%85%CE%B3%CE%AE%CF%82

Υπερσυμμετρία. Από τη Βικιπαίδεια, τροποποίηση Παρασκευή 26.04.2013, http://el.wikipedia.org/wiki/Υπερσυμμετρία

Υποατομικά σωματίδια. Από τη Βικιπαίδεια, τροποποίηση Πέμπτη 5.07.2012, http://el.wikipedia.org/wiki/Υποατομικά_σωματίδια

Φαινόμενο Ντόπλερ. Από τη Βικιπαίδεια, τροποποίηση 9 Αυγούστου 2015, https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A6%CE%B1%CE%B9%CE%BD%CF%8C%CE%BC%CE%B5%CE%BD%CE%BF_%CE%9D%CF%84%CF%8C%CF%80%CE%BB%CE%B5%CF%81

Φως. Από τη Βικιπαίδεια, τροποποίηση Τρίτη 09.05.2014, http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A6%CF%89%CF%82

Φωτόνιο. Από τη Βικιπαίδεια, Πέμπτη 15.09.2011, http://el.wikipedia.org/wiki/Φωτόνιο

Χημικό στοιχείο. Από τη Βικιπαίδεια, τροποποίηση Παρασκευή 09.05.2014, http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A7%CE%B7%CE%BC%CE%B9%CE%BA%CF%8C_%CF%83%CF%84%CE%BF%CE%B9%CF%87%CE%B5%CE%AF%CE%BF

Χρόνος. Από τη Βικιπαίδεια, τροποποίηση 1 Απριλίου 2016, https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A7%CF%81%CF%8C%CE%BD%CE%BF%CF%82

Χρυσή πλάκα του Πάιονηρ. Από τη Βικιπαίδεια, τροποποίηση 6 Φεβρουαρίου 2020, https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A7%CF%81%CF%85%CF%83%CE%AE_%CF%80%CE%BB%CE%AC%CE%BA%CE%B1_%CF%84%CE%BF%CF%85_%CE%A0%CE%AC%CE%B9%CE%BF%CE%BD%CE%B7%CF%81

Χρυσός δίσκος του Βόγιατζερ. Από τη Βικιπαίδεια, τροποποίηση 21 Φεβρουαρίου 2020, https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A7%CF%81%CF%85%CF%83%CF%8C%CF%82_%CE%B4%CE%AF%CF%83%CE%BA%CE%BF%CF%82_%CF%84%CE%BF%CF%85_%CE%92%CF%8C%CE%B3%CE%B9%CE%B1%CF%84%CE%B6%CE%B5%CF%81

Χωροχρόνος Minkowski. Από τη Βικιπαίδεια, τροποποίηση 12 Σεπτεμβρίου 2015, https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A7%CF%89%CF%81%CE%BF%CF%87%CF%81%CF%8C%CE%BD%CE%BF%CF%82_Minkowski

ΠΗΓΕΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Σχ. 1.1 α: Γαβρίλης, Κ. κ.ά. (1998)

Σχ. 1.1 β: Γαβρίλης, Κ. κ.ά. (1998)

Σχ. 1.2: *Αρχαία Ελλάδα* (2016),
http://www.ancientgreecereloaded.com/files/ancient_greece_reloaded_website/great_persons/hipparchus_gr.php#footer_of_page

Σχ. 1.3: Γαβρίλης, Κ. κ.ά. (1998)

Εικ. 1.4: Εθνική Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών & Ταχυδρομείων,
https://www.eett.gr/opencms/opencms/EETT/Electronic_Communications/Antennas_EMR/health/EMRadiation/EMRadiation/

Εικ. 2.1 α,β,γ,δ: Γαβρίλης, Κ. κ.ά. (1998)

Εικ. 2.2: National Aeronautics and Space Administration, WMAP Internal Linear Combination Map, (2008), http://lambda.gsfc.nasa.gov/product/map/dr1/m_images.cfm

Διάγρ. 2.3: National Aeronautics and Space Administration, COBE Science Team, (2013),
http://lambda.gsfc.nasa.gov/product/cobe/firas_monopole_get.cfm

Σχ. 2.4: Piccioni, R.,
http://www.guidetothecosmos.com/present_universe.htm

Σχ. 2.5: Γαβρίλης, Κ. κ.ά. (1998)

Σχ. 2.6: Boxaider, G. (1991) CERN

Πίν. 2.7: Καφεσάκη, Μ.,
http://esperia.iesl.forth.gr/~kafesaki/Modern-Physics/lectures/modern_physics10.html#b

Πίν. 2.8: Καφεσάκη, Μ.,
http://esperia.iesl.forth.gr/~kafesaki/Modern-Physics/lectures/modern_physics10.html#b

Σχ. 2.9: Καφεσάκη, Μ.,
http://gate.iesl.forth.gr/~kafesaki/Modern-Physics/lectures/ modern_physics10.html

Πίν. 2.10: Τράκας, Ν.Δ. (1998),
http://www.physics.ntua.gr/POPPHYS/articles/inter.html

Σχ. 2.11: Καφεσάκη, Μ.,
http://gate.iesl.forth.gr/~kafesaki/Modern-Physics/lectures/ modern_physics10.html

Σχ. 2.12: McDonald W. (2007),
http://old.world-mysteries.com/mcdonald_gravity.htm

Εικ. 2.13: Νάντσου, Τ. (2015),
https://tinanantsou.blogspot.com/2015/10/nobel-2015_6.html

Σχ. 2.14: Μπάνος, Γ (1998)

Εικ. 2.15: Κορρές, Ι. (2006),
https://science.fandom.com/el/wiki/%CE%A5%CF%80%CE%B5%CF%81%CF%83%CF%85%CE%BC%CE%BC%CE%B5%CF%84%CF%81%CE%AF%CE%B1?file=Supersymmetry-01-goog.jpg

Εικ. 2.16: Springel, V. (Max Planck Institute for Astrophysics),
https://www.newscientist.com/article/mg22630164-600-looking-into-the-voids-could-help-explain-dark-energy/

Σχ. 3.1: Χατζηδημητρίου, Ι. (2000)

Σχ. 3.2: Καρακώστας, Θ., Κυριάκος, Δ. (1998)

Πίν. 3.3: Φον Νταίνικεν, Ε. (1977)

Σχ. 3.4 α: Serway R. et al. (2007)

Σχ. 3.4 β: Serway R. et al. (2007)

Σχ. 3.5: Χατζηδημητρίου, Ι. (2000)

Σχ. 3.6: Χατζηδημητρίου, Ι. (2000)

Σχ. 3.7 (α,β): Τόγκας, Α., www.math.upatras.gr/~tasos/reldyn.pdf

Σχ. 3.8: Hawking, S. (1997)

Σχ. 3.9: Χατζηδημητρίου, Ι. (2000)

Σχ. 3.10: Χατζηδημητρίου, Ι. (2000)

Εικ. 3.11: Μουρούλης, Δ.
http://dimitris.webgalaxy.gr/science-sxetikotita-ennoies-06.php

Εικ. 3.12 (α,β,γ): Livio, M. (2008),
http://www.scienceinschool.org/el/2006/issue2/symmetry

Σχ. 3.13: Γαβρίλης, Κ. κ.ά. (1998)

Σχ. 3.14: *Παρερμηνείες για τη Μεγάλη Έκρηξη - Μέρος 2ο - Απομάκρυνση με ταχύτητα μεγαλύτερη του φωτός.* Physics4u, (2005),
http://www.physics4u.gr/articles/2005/misconceptions2.html

Εικ. 3.15: Kohler, S. (2016)
https://aasnova.org/2016/02/11/ligo-discovers-the-merger-of-two-black-holes/

Σχ. 3.16: *Εισαγωγή στην κβαντομηχανική.* Physics4u, (2002),
http://www.physics4u.gr/articles/introqm.html

Διάγρ. 3.17: Ζδέτσης, Α. (2005),
http://www.google.com.cy/url?url=http://www.physics.upatras.gr/UploadedFiles/course_111_7809.pdf&rct=j&frm=1&q=&esrc=s&sa=U&ved=0ahUKEwi-98fL4OTYAhWSh7QKHUN3CxgQFggSMAA&usg=AOvVaw2Ekmr0BVCtcNsvTyxIpXTW

Εικ. 3.18: *Θεωρία των Χορδών και πίστη στον Θεό - Μια ίση σύγκριση σε αντίστοιχη κριτική*. Ο.Ο.Δ.Ε., (2008),
http://www.oodegr.com/oode/a8eismos/epixeirimata/xordes_kai_plirotita_1.htm#pano

Πίν. 3.19: *Πίνακας με τις κυριότερες θεωρίες χορδής.* Physics4u,
http://www.physics4u.gr/strings/string8.html

Εικ. 3.20: *Θεωρία των Χορδών και πίστη στον Θεό - Μια ίση σύγκριση σε αντίστοιχη κριτική.* Ο.Ο.Δ.Ε., (2008),
http://www.oodegr.com/oode/a8eismos/epixeirimata/xordes_kai_plirotita_1.htm#pano

Σχ. 4.1: Γαβρίλης, Κ. κ.ά. (1998)

Σχ. 4.2: Dickinson, T. (2004), http://sp-astrophysics.blogspot.com/2008/04/blog-post.html

Σχ. 4.3: Γαβρίλης, Κ. κ.ά. (1998)

Πίν. 4.4: Γαβρίλης, Κ. κ.ά. (1998)

Εικ. 4.5: Αθανασάκης, Ι. (2016),
http://users.sch.gr/ioathanasa/site/index.php/astronomia-diastimiki/119-galaksies

Εικ. 4.6: Αθανασάκης, Ι. (2016),
http://users.sch.gr/ioathanasa/site/index.php/astronomia-diastimiki/119-galaksies

Εικ. 4.7: Αθανασάκης, Ι. (2016),
http://users.sch.gr/ioathanasa/site/index.php/astronomia-diastimiki/119-galaksies

Εικ. 4.8: Μαματσή, Ν. (2018) https://slideplayer.gr/slide/12729376/

Σχ. 5.1: Γαβρίλης, Κ. κ.ά. (1998)

Διάγρ. 5.2: Γαβρίλης, Κ. κ.ά. (1998)

Διάγρ. 5.3: Γαβρίλης, Κ. κ.ά. (1998)

Σχ. 5.4: Γαβρίλης, Κ. κ.ά. (1998)

Σχ. 5.5: Γαβρίλης, Κ. κ.ά. (1998)

Σχ. 5.6: *Φαινόμενο Ντόπλερ*. Από τη Βικιπαίδεια, (2007),
https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A6%CE%B1%CE%B9%CE%BD%CF%8C%CE%BC%CE%B5%CE%BD%CE%BF_%CE%9D%CF%84%CF%8C%CF%80%CE%BB%CE%B5%CF%81

Πίν. 5.7: Pogosyan, D.,
https://sites.ualberta.ca/~pogosyan/teaching/ASTRO_122/lect16/lecture16.html

Σχ. 5.8: Γαβρίλης, Κ. κ.ά. (1998)

Εικ. 5.9: *Νέα Παιδική Εγκυκλοπαίδεια «ΑΛΦΑ»*. Τόμος 6, σ. 526, (1993),

Σχ. 6.1: Γαβρίλης, Κ. κ.ά. (1998)

Διάγρ. 6.2: Παπανικολάου, Δ., Σίδερης, ΧΡ. (1985)

Εικ. 6.3: Γαβρίλης, Κ. κ.ά. (1998)

Πίν. 6.4: Γαβρίλης, Κ. κ.ά. (1998)

Σχ. 6.5: Καραγιάννης, Γ. (2012),
https://www.slideshare.net/yiankarayian/ss-11757937

Πίν. 6.6: Γαβρίλης, Κ. κ.ά. (1998)

Εικ. 6.7: *Έκλειψη*. Από τη Βικιπαίδεια, (2017),
https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%88%CE%BA%CE%BB%CE%B5%CE%B9%CF%88%CE%B7

Εικ. 6.8: *Έκλειψη*. Από τη Βικιπαίδεια, (2017),
https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%88%CE%BA%CE%BB%CE%B5%CE%B9%CF%88%CE%B7

Σχ. 6.9: Γαβρίλης, Κ. κ.ά. (1998)

Εικ. 6.10 α: *Ηλιακό σύστημα*. Από τη Βικιπαίδεια, (2018),
https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%97%CE%BB%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CF%8C_%CF%83%CF%8D%CF%83%CF%84%CE%B7%CE%BC%CE%B1

Εικ. 6.10 β: *Ηλιακό σύστημα*. Από τη Βικιπαίδεια, (2018),
https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%97%CE%BB%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CF%8C_%CF%83%CF%8D%CF%83%CF%84%CE%B7%CE%BC%CE%B1

Εικ. 6.11 α: *Γήινος πλανήτης*. Από τη Βικιπαίδεια, (2018),
https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%93%CE%AE%CE%B9%CE%BD%CE%BF%CF%82_%CF%80%CE%BB%CE%B1%CE%BD%CE%AE%CF%84%CE%B7%CF%82

Εικ. 6.11 β: *Our Solar System*. CAL POLY,
https://evolution.calpoly.edu/solar-system

Εικ. 6.12: *Ερμής (πλανήτης)*. Από τη Βικιπαίδεια, MESSENGER 2008 (ρομποτικός διαστημικός ανιχνευτής της NASA),
https://en.wikipedia.org/wiki/Mercury_(planet)#/media/File:Mercury_in_color_-_Prockter07-edit1.jpg

Εικ. 6.13: *Αφροδίτη (πλανήτης).* NASA Science - SOLAR SYSTEM EXPLORATION,
https://solarsystem.nasa.gov/planets/overview/

Εικ. 6.14*: Άρης (πλανήτης)*. NASA Science - SOLAR SYSTEM EXPLORATION,
https://solarsystem.nasa.gov/planets/overview/

Εικ. 6.15 α: *Ηλιακό σύστημα.* Από τη Βικιπαίδεια, (2018),
https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%97%CE%BB%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CF%8C_%CF%83%CF%8D%CF%83%CF%84%CE%B7%CE%BC%CE%B1

Εικ. 6.15 β: Singleton, O. (2016), https://slideplayer.com/slide/9922019/

Εικ. 6.16: *Σύγκριση Γης και Δία.* Από τη Βικιπαίδεια, (2020),
https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%94%CE%AF%CE%B1%CF%82_(%CF%80%CE%BB%CE%B1%CE%BD%CE%AE%CF%84%CE%B7%CF%82)

Εικ. 6.17: *Ουρανός (πλανήτης).* NASA Science - SOLAR SYSTEM EXPLORATION,
https://solarsystem.nasa.gov/planets/overview/

Εικ. 6.18: *Ποσειδώνας (πλανήτης).* NASA Science - SOLAR SYSTEM EXPLORATION,
https://solarsystem.nasa.gov/planets/overview/

Πίν. 6.19: Γαβρίλης, Κ. κ.ά. (1998)

Πίν. 6.20: Γαβρίλης, Κ. κ.ά. (1998)

Εικ. 6.21: *Κρόνος (πλανήτης).* NASA Science - SOLAR SYSTEM EXPLORATION,
https://solarsystem.nasa.gov/planets/overview/

Εικ. 6.22: Hamilton, C. (1992),
http://solarviews.com/cap/ast/gaspra3.htm

Σχ. 6.23: *Κομήτης*. Από τη Βικιπαίδεια, (2020),
https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CE%BF%CE%BC%CE%AE%CF%84%CE%B7%CF%82

Εικ. 6.24: Alighieri, D. (2019),
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Willamette_Meteorite_AMNH.jpg

Σχ. 7.1: Δερμιτζάκης, Μ., Λέκκας, Σ. (1993)

Εικ. 7.2 α: *Χρυσός δίσκος του Βόγιατζερ*. Από τη Βικιπαίδεια, (2020),
https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A7%CF%81%CF%85%CF%83%CF%8C%CF%82_%CE%B4%CE%AF%CF%83%CE%BA%CE%BF%CF%82_%CF%84%CE%BF%CF%85_%CE%92%CF%8C%CE%B3%CE%B9%CE%B1%CF%84%CE%B6%CE%B5%CF%81

Εικ. 7.2 β*: Χρυσός δίσκος του Βόγιατζερ*. Από τη Βικιπαίδεια, (2020),
https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A7%CF%81%CF%85%CF%83%CF%8C%CF%82_%CE%B4%CE%AF%CF%83%CE%BA%CE%BF%CF%82_%CF%84%CE%BF%CF%85_%CE%92%CF%8C%CE%B3%CE%B9%CE%B1%CF%84%CE%B6%CE%B5%CF%81

Σχ. 7.3: *Χρυσή πλάκα του Πάιονηρ*. Από τη Βικιπαίδεια, (2020),
https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A7%CF%81%CF%85%CF%83%CE%AE_%CF%80%CE%BB%CE%AC%CE%BA%CE%B1_%CF%84%CE%BF%CF%85_%CE%A0%CE%AC%CE%B9%CE%BF%CE%BD%CE%B7%CF%81

Εικ.7.4: Creighton, T., Jenet, F. (2015),
https://www.discovermagazine.com/the-sciences/where-will-we-live-after-earth

Σχ. 8.1: Hawking, S. (1997)

Σχ. 8.2: Hawking, S. (1997)

Σχ. 8.3: Hawking, S. (1997)

Σχ. 8.4: Ξενικουδάκης, Σ. (2004),
https://www.rizospastis.gr/story.do?id=2226755

Σχ. 8.5: Ξενικουδάκης, Σ. (2004),
https://www.rizospastis.gr/story.do?id=2226755

